ENDEAVOUR

Revue trimestrielle destinée à tenir registre du progrès des sciences au service du genre humain

VOLUME IV · 1945

Endeavour

VOLUME IV 1945

LISTE DES ARTICLES par ordre alphabétique des noms d'auteurs

Auteurs	*Articles*	*Page*
ARTICLES DE TÊTE	L'Islam et la Science: Passé et Avenir	1
	Le Langage de la Science	41
	Science et Reconstruction	81
	L'Arme chimique dans la Lutte contre les Etres nuisibles	121
BARTLETT, F. C.	Quelques Problèmes de Psychologie expérimentale en Cours d'Etude	43

F. C. BARTLETT est Professeur de Psychologie expérimentale à l'Université de Cambridge et Directeur du Laboratoire de Psychologie. Il est rédacteur du *British Journal of Psychology*, et membre du Medical Research Council.

BOWEN, E. J.	Particules, Ondes et Formules chimiques	75

E. J. BOWEN est Préparateur de Chimie à l'Université d'Oxford. Il s'intéresse particulièrement, au point de vue recherche, à la photochimie et à la fluorescence.

CARTER, G. S.	Le Vol des Poissons volants	136

G. S. CARTER est Fellow de Corpus Christi College, Cambridge. Il a dirigé des expéditions au Paraguay et en Guyane Britannique pour étudier les conditions de vie dans les eaux douces tropicales. Depuis 1933 ils s'est intéressé surtout à l'Endocrinologie comparée.

CAVE, C. J. P.	Nuages et Paysages de Nuages	58

C. J. P. CAVE est Fellow de la Royal Meteorological Society, de la Royal Astronomical Society, et de la Royal Photographic Society. Il est membre de la Commission internationale de Recherches sur les Régions supérieures de l'Atmosphère et de l'Etude des Nuages.

DAVIES, C. W.	La Dissociation des Solutions salines	114

C. W. DAVIES est Professeur de Chimie et Directeur des Laboratoires de l'University College du Pays de Galles, à Aberystwyth. Il fut secrétaire de la Chemical Society de Londres de 1936 à 1944.

FERGUSON, A.	Episodes sensationnels dans l'Histoire de la Science en Grande-Bretagne	17

ALLAN FERGUSON est Professeur-adjoint de Physique au Queen Mary College, à l'Université de Londres. Il est l'un des secrétaires généraux de la British Association for the Advancement of Science, et l'un des rédacteurs du *Philosophical Magazine*. Il a été Président de la Physical Society.

GARRETT, S. D.	Les Champignons parasites des Racines	104

S. D. GARRETT est Mycologue à la Station expérimentale de Rothamsted, après avoir été Assistant de Pathologie végétale au Waite Agricultural Research Institute, à l'Université d'Adélaide.

HADDOW, A., *et* RUDALL, K. M.	La Coloration artificielle du Pelage at la Croissance des Poils	141

ALEXANDER HADDOW fut Professeur de Bactériologie à l'Université d'Edimbourg et fait maintenant partie du personnel de recherche du Royal Cancer Hospital de Londres. Il s'intéresse particulièrement aux composés carcinogénétiques.

JONES, E. TAYLOR	Sons éoliens	100

E. TAYLOR JONES fut Professeur de Physique à l'Université de Glasgow. Ses recherches de physique ont porté sur les oscillations électriques, la bobine d'induction, et une théorie quantique de l'énergie électrostatique et magnétique.

JONES, SIR HAROLD SPENCER	Les Spectres célestes	35
	La Mesure du Temps	123

SIR HAROLD SPENCER JONES occupe le poste d'Astronome Royal depuis 1933. Il a été Président de la Royal Astronomical Society et de la British Astronomical Association, et Vice-président de l'International Astronomical Union de 1935 à 1938.

LISTE DES ARTICLES *(suite)*

Auteurs	*Articles*	*Page*
MCKIE, D.	John Harris et son *Lexicon Technicum*	53
	D. MCKIE est Professeur à la Section d'Histoire de la Science de l'Université de Londres, et l'un des fondateurs et des rédacteurs des *Annals of Science*.	
NEWTON, L.	L'Agar-agar	69
	L. NEWTON (*née* BATTEN) est Professeur de Botanique à l'University College du Pays de Galles, à Aberystwyth. Elle a fait de nombreux travaux sur les algues marines.	
PALMER, W. G.	Interprétation moderne de la Théorie de la Valence	108
	W. G. PALMER est Professeur de Chimie à l'Université de Cambridge, et il est titulaire de la Médaille d'Or d'University College de Londres.	
READ, J.	Les Alchimistes de Teniers	94
	JOHN READ est Professeur de Chimie et Directeur du Laboratoire de recherches de Chimie à l'Université de St. Andrews.	
RICHARDSON, E. G.	La Rhéologie: Dynamique des Liquides vrais	64
	E. G. RICHARDSON est Professeur de Physique à King's College, à Newcastle-upon-Tyne (Université de Durham). Il s'est spécialisé dans la physique du son.	
RIDEAL, E. K.	La Chimie des Surfaces et ses Rapports avec la Biologie	83
	E. K. RIDEAL est Professeur de Chimie colloïdale à l'Université de Cambridge. Il a été Président de la Faraday Society et Vice-président de la Chemical Society de Londres.	
RUDALL, K. M., *voir* HADDOW, A.		
	K. M. RUDALL a poursuivi des recherches sur les rapports entre la structure et la fonction des macromolécules biologiques, et il a contribué au développement de l'application de la technique du microscope électronique à l'étude des protéines et des tissus fibreux.	
SLADE, R. E.	Les Poisons spécifiques	148
	R. E. SLADE est Directeur de la recherche aux Imperial Chemical Industries, et il fit partie de l'équipe d'hommes de science qui participèrent aux travaux récents sur la désintégration de l'atome.	
SMITH, K. M.	Virus des Végétaux	22
	KENNETH M. SMITH est Directeur de la Station de recherches sur les Virus des Végétaux de l'Ecole d'Agriculture de Cambridge. La plupart de ses travaux scientifiques ont porté sur les virus des végétaux.	
THOMPSON, H. W.	Récentes Applications de la Spectroscopie à la Chimie	154
	H. W. THOMPSON est Professeur et Préparateur de Chimie à l'Université d'Oxford. Il s'intéresse principalement à la spectroscopie et surtout à la région infra-rouge du spectre.	
TURNER, W. E. S.	Les Verres industriels modernes	3
	W. E. S. TURNER est depuis 1920 Professeur de Technologie du Verre à l'Université de Sheffield. Il est membre de nombreuses sociétés britanniques et étrangères s'occupant de la technologie du verre et il a été Président de la Society of Glass Technology et de la Commission internationale de Technologie du Verre.	
TYNDALL, A. M.	Travaux récents sur le Comportement des Ions dans les Gaz	29
	A. M. TYNDALL est titulaire de la chaire de Physique Henry Overton Wills à l'Université de Bristol et Directeur du Laboratoire de Physique Henry Herbert Wills.	
WHEELER, T. S.	Sir Robert John Kane	91
	T. S. WHEELER est Professeur de Chimie à l'University College à Dublin, et fut auparavant Chimiste de l'Etat en Irlande. Il est membre du Bureau de Recherches scientifiques de Guerre Irlandais.	
WOOD, A.	Histoire du Laboratoire Cavendish, de Cambridge	131
	ALEXANDER WOOD est Professeur de Physique expérimentale à l'Université de Cambridge. Ses recherches de physique ont porté surtout sur l'étude du son.	

TABLE DES MATIÈRES

	Page
AGAR-AGAR, L', L. NEWTON	69
ARME chimique dans la Lutte contre les Etres nuisibles, L', ARTICLE DE TÊTE	121
CHAMPIGNONS parasites des Racines, Les, S. D. GARRETT	104
CHIMIE des Surfaces et ses Rapports avec la Biologie, La, E. K. RIDEAL	83
COLORATION artificielle du Pelage et la Croissance des Poils, La, A. HADDOW *et* K. M. RUDALL	141
DISSOCIATION des Solutions salines, La, C. W. DAVIES	114
ÉNERGIE atomique, L',	130
ÉPISODES sensationnels dans l'Histoire de la Science en Grande-Bretagne, A. FERGUSON	17
GERARD, Le Botaniste John	90
HARRIS, John, et son *Lexicon Technicum*, D. MCKIE	53
IONS dans les Gaz, Travaux récents sur le Comportement des, A. M. TYNDALL	29
ISLAM et la Science: Passé et Avenir, L', ARTICLE DE TÊTE	1
KANE, Sir Robert John, T. S. WHEELER	91
LABORATOIRE Cavendish, de Cambridge, Histoire du, A. WOOD	131
LANGAGE de la Science, Le, ARTICLE DE TÊTE	41
MESURE du Temps, La, SIR HAROLD SPENCER JONES	123
NUAGES et Paysages de Nuages, C. J. P. CAVE	58
PARTICULES, Ondes et Formules chimiques, E. J. BOWEN	75
POISONS spécifiques, Les, R. E. SLADE	148
PSYCHOLOGIE expérimentale en Cours d'Etude, Quelques Problèmes de, F. C. BARTLETT	43

REVUE DES LIVRES:

	page
Algae, The Structure and Reproduction of the, Vol. II, F. E. FRITSCH	160
Art and Scientific Thought, M. JOHNSON	39
Comparative Anatomy, A History of, from Aristotle to the Eighteenth Century, F. J. COLE	39
Determination of Particle Size in Sub-sieve Range, B.C.O.R.A. and B.C.U.R.A.	38
Diseases, Polyglot Glossary of Communicable, YVES BIRAUD	39
Famous American Men of Science, J. G. CROWTHER	40
Flowers in Britain, L. J. F. BRIMBLE	80
From Atoms to Stars, M. DAVIDSON	80
Hydrocarbon Compounds, Encyclopedia of, Vol. I, J. E. FARADAY	120
Metallurgical Analysis by Means of the Spekker Photo-electrical Absorptiometer, F. W. HAYWOOD *et* A. A. R. WOOD	120

REVUE DES LIVRES:

	page
Materials of To-morrow, PAUL I. SMITH	160
Polyglot Glossary of Communicable Diseases, YVES BIRAUD	39
Plastics for Production, PAUL I. SMITH	40
Problems in the Utilization of Small Coals, B.C.U.R.A.	120
Royal Society, The, 1660–1940, SIR HENRY LYONS	80
Science at Your Service, JULIAN HUXLEY, *et al.*	160
Seashore Life and Pattern, T. A. STEPHENSON	40
Stars, From Atoms to, M. DAVIDSON	80
Structure and Reproduction of the Algae, The, Vol. II, F. E. FRITSCH	160
Time, Knowledge and the Nebulae, M. JOHNSON	160
Valency: Classical and Modern, W. G. PALMER	38

RHÉOLOGIE: Dynamique des Liquides vrais, La, E. G. RICHARDSON 64
SCIENCE et Reconstruction, ARTICLE DE TÊTE 81
SONS éoliens, E. TAYLOR JONES 100
SPECTRES célestes, Les, SIR HAROLD SPENCER JONES 35
SPECTROSCOPIE à la Chimie, Récentes Applications de la, H. W. THOMPSON 154
TENIERS, Les Alchimistes de, J. READ 94
VALENCE, Interprétation moderne de la Théorie de la, W. G. PALMER 108
VERRES industriels modernes, Les, W. E. S. TURNER 3
VIRUS des Végétaux, K. M. SMITH 22
VOL des Poissons volants, Le, G. S. CARTER 136

Fait et imprimé en Grande-Bretagne par THE KYNOCH PRESS, *Witton, Birmingham, 6, pour les éditeurs,* IMPERIAL CHEMICAL INDUSTRIES LIMITED, *Londres,* S.W.1

ENDEAVOUR

Revue trimestrielle destinée à tenir registre du progrès
des sciences au service du genre humain

VOLUME IV JANVIER 1945 NUMÉRO 13

L'Islam et la science: passé et avenir

Sa Majesté le Roi d'Angleterre a visité récemment le centre culturel islamique de Londres et s'est vivement intéressé au projet d'une mosquée centrale, qui y sera construite, après la guerre, sur un emplacement offert par le gouvernement britannique. Cet aimable geste royal éveillera la satisfaction générale et sera particulièrement bien accueilli par les hommes de science qui savent qu'il y a mille ans la flamme de la science brûlait avec éclat en Islam, et rien qu'en Islam. Avec l'encourageante perspective d'une paix peut-être proche, nous pouvons espérer, que le génie scientifique musulman, longtemps sommeillant, s'éveillera avec la même énergie et la même inspiration qu'autrefois.

Cet espoir nous est dicté par la conviction, que les peuples du monde auront chacun leur contribution particulière à apporter à l'avancement de la science. Durant les trois ou quatre siècles derniers la pensée occidentale a réalisé un progrès remarquable dans le domaine scientifique, mais le progrès de la science est basé sur la fertilité de l'imagination humaine. Nous avons maintenant une claire notion de la discipline rigoureuse à laquelle il faut soumettre notre imagination, mais on ne saurait soutenir que, de notre temps, l'abondance d'idées ne laisse à désirer. C'est dans cette direction qu'une renaissance scientifique en Islam donnerait des résultats de première importance et nous espérons que l'aide gouvernementale au centre islamique à Londres n'est qu'un symbole d'une politique plus large.

Tout essai de prévision des possibilités de l'avenir doit être basé sur un examen du passé. Il est donc bon que nous passions en revue quelques-uns des travaux importants accomplis par les savants musulmans durant les siècles où l'Islam était dans tout son épanouissement. Il semble que l'on ne devrait pas s'attendre à ce que les années qui suivent une grande guerre religieuse soient propices à l'assimilation, à la dissémination et à l'expansion paisibles du savoir; ce phénomène improbable fut pourtant un trait caractéristique de l'Islam primitif. De nombreux califes, tels que Haroun-al-Raschid, firent preuve d'une louable tolérance envers les érudits non musulmans: Chrétiens, Juifs et autres; ils dotèrent les universités, les observatoires et les hôpitaux; ils recherchèrent des manuscrits de traités grecs pour les traduire et les étudier, et ils firent tous les efforts possibles afin d'augmenter les connaissances humaines.

Une politique aussi éclairée fut rapidement fructueuse. Dans notre article nous ne pouvons que mentionner l'invention musulmane de l'algèbre, les progrès de la trigonométrie et l'introduction de signes numériques indiens (avec l'addition extrêmement importante du signe zéro), mais parallèlement à cette avance en mathématiques, des progrès de même envergure étaient accomplis en chimie, en physique et en pharmacologie. Al-Battani, par exemple, qui mourut en 929, détermina l'inclinaison exacte de l'écliptique, la durée de l'année tropique et le mouvement moyen du soleil: il prouva la possibilité d'éclipses annulaires: il calcula à nouveau la valeur de la précession des équinoxes: et ses observations sur les éclipses solaires et lunaires furent considérées encore en 1749 comme suffisamment exactes par l'astronome anglais Dunthorne qui s'en servit pour calculer l'accélération séculaire du mouvement moyen de la lune.

En matière de physique, le plus grand savant musulman fut Ibn-al-Haitam, connu de l'Occident sous le nom de Al-Hazen (965–1038/9). Ce fut un homme de génie remarquable; il s'opposa à l'idée soutenue par la plupart des philosophes de l'antiquité, que l'œil transmet des rayons à l'objet et affirma au contraire, que la cause de la vision dépend de l'objet. Il découvrit une des

lois de la réflection de la lumière, à savoir, que l'angle d'incidence et l'angle de réflection se trouvent dans le même plan. Il étudia les miroirs sphériques et paraboliques, et l'un des problèmes relatifs à ces miroirs qu'il tenta de résoudre porte encore son nom: « Etant données la position d'un point lumineux et celle de l'œil, trouver le point de réflexion sur un miroir sphérique, cylindrique, ou conique ». Al-Hazen traita de l'arc-en-ciel, du halo et de l'épaisseur de l'atmosphère, et fut le premier physicien à donner une description détaillée de l'œil humain. Son étude de la sphère ardente « dénote une profonde et exacte conception du foyer, de l'agrandissement et de l'inversion de l'image, ainsi que de la formation expérimentale d'anneaux et de couleurs ». Se servant le premier de la chambre noire, il nota la forme semi-lunaire du soleil pendant les éclipses. Une pareille énumération de découvertes, bien qu'incomplète, place Al-Hazen parmi les grands savants de tous les siècles.

La mémoire de Al-Biruni (973–1048?) vit toujours grâce à son habileté à déterminer les poids spécifiques, par la méthode expérimentale d'Archimède, avec une admirable précision: les chiffres qu'il donne pour les poids spécifiques de l'or (19,05), du mercure (13,74), du cuivre (8,83), du fer (7,74), de l'étain (7,15) et du plomb (11,29) sont extraordinairement voisins des valeurs présentes. Al-Khazini, qui vécut un siècle plus tard, porta l'exactitude plus loin encore, en démontrant que l'eau chaude et l'eau au point de congélation avaient une densité inférieure à celle de l'eau tiède. Il remarqua également que la valeur du poids d'un objet dépend de la légèreté de l'air dans lequel la pesée est effectuée. Devant de pareils faits et de tels chiffres on peut admettre sa prétention d'avoir construit une balance exacte à 0,06 gr près, pour un poids de 2,2 kg. D'autres preuves nous permettent de conclure qu'une balance scientifique de l'époque était quelquefois exacte au milligramme près, ce qui est tout à fait remarquable.

On n'ignore pas la dette que la chimie doit à l'Islam. Le premier grand chimiste de l'histoire fut Geber (Jabir ibn Hayyan), dont beaucoup d'ouvrages existent toujours. On ne connaît rien, ou presque rien, avec certitude sur les détails de sa vie, et le siècle même de son activité scientifique est un sujet de discussion. Quoi qu'il en soit, le fait important est qu'il reconnaissait clairement et affirmait avec force la nécessité de l'expérimentation en chimie: et quoique ses spéculations aient souvent été dénuées de fondement, ses livres, qui contiennent des descriptions d'expériences clairement rapportées, prouvent qu'il fut un observateur précis et un travailleur fécond. Au point de vue théorique il élabora la conception mercuro-sulfurique de la constitution des métaux — la première théorie chimique proprement dite, théorie qui persista à travers les siècles, jusqu'à ce qu'elle fût détruite par le génie de Lavoisier, dans sa dernière métamorphose, c'est à dire sous forme de la théorie du phlogiston.

Parmi les chimistes de l'Islam, Rhazes (Ibn Zakariyya al-Razi) prend rang à la suite de Geber. On l'a décrit comme le disciple intellectuel le plus remarquable des philosophes grecs. Ses ouvrages sur la chimie montrent une passion pour la vérité objective, le rejet des pratiques de la magie et de l'astrologie et une confiance absolue dans les faits que l'on pouvait prouver par l'expérimentation. Sa classification des substances chimiques accompagnée d'une description claire de celles de leur propriétés qui étaient connues à l'époque, n'est pas sa moindre contribution à la chimie.

En chimie appliquée — c'est à dire en ce qui concerne les opérations techniques qui se rapportent à la métallurgie, la teinturerie, la pharmacologie, etc. — le nombre de découvertes fut probablement très élevé, car la quantité de connaissances amoncelées par les Musulmans fut considérable. Il est probable que les acides sulfurique et nitrique furent préparé en premier lieu par des chimistes musulmans; et déjà au treizième siècle la coupellation, la séparation de l'or et de l'argent, l'extraction de l'argent par la méthode d'amalgamation avec du mercure et l'analyse quantitative des alliages d'or et d'argent se faisaient à la Monnaie du Caire comme des opérations courantes.

La géographie, la botanique, la zoologie, la

(*Suite à la page* 34)

On est prié d'adresser les manuscrits et la correspondance au rédacteur en chef, E. J. Holmyard, Imperial Chemical Industries, Nobel House, Buckingham Gate, Londres, S.W.1. Nous invitons les chercheurs qui poursuivent des travaux importants ou intéressants à nous envoyer de courtes notes sur les expériences en cours et sur leurs derniers résultats.

Les verres industriels modernes

W. E. S. TURNER

La fabrication du verre est un art qui remonte à la préhistoire et, comme beaucoup d'arts de ce genre, il demeura relativement stationnaire jusqu'au moment où la chimie atteignit un certain développement. Il devint possible, avec des méthodes chimiques et des notions de physique plus précises, de réaliser des progrès dans l'industrie du verre et, au cours des vingt-cinq dernières années, nos connaissances essentielles relatives à cette technologie ont été sensiblement accrues. Le Professeur Turner décrit les derniers progrès réalisés dans ce domaine.

RÉSISTANCE CHIMIQUE ET RÉSISTANCE THERMIQUE DU VERRE

On peut aisément traiter ensemble ces deux aspects de la question, car il est certain maintenant que, d'une façon générale, les constituants qui augmentent la résistance du verre aux conditions atmosphériques et aux réactifs chimiques, augmentent aussi sa résistance thermique. Ces constituants sont: la silice, l'alumine et, dans une certaine mesure, l'acide borique.

La silice fondue, transparente ou opaque, occupe le premier rang parmi les verres, en ce que concerne ces deux propriétés. On en fait depuis longtemps des récipients destinés au laboratoire ou à la grosse industrie chimique, qui sont employés dans les conditions les plus dures, telles des installations en plein air de distillation d'acides. On emploie aussi maintenant beaucoup les verres de composition complexe, résistant aux agents chimiques et aux températures élevées. Sur les cinq sortes fabriquées maintenant en Grande Bretagne, trois ont une teneur élevée en silice (> 80 pour cent) et une teneur peu élevée en acide borique (environ 12 pour cent) avec 3 à 4 pour cent d'alumine et 3 à 4 pour cent de soude. Ils présentent une résistance élevée à l'eau, sous forme liquide ou vapeur, aux acides et aux solutions salines acides ou neutres. Ils ne résistent pas aussi bien aux solutions alcalines que les autres variétés dans lesquelles la teneur totale en silice et en acide borique est inférieure à 85 pour cent et la teneur en alumine et oxydes basiques plus forte en proportion.

Le « Vycor », qui est le plus nouveau et, à beaucoup de points de vue, le plus intéressant de ces verres résistant aux agents chimiques et aux températures élevées, a lui-même pour base le produit de corrosion d'un verre du même type et l'on évite, dans le procédé de fabrication, l'emploi de la très haute température qui serait nécessaire pour le préparer directement à partir de ses constituants.

Lorsque, dans un verre chimique soude-potasse-chaux-silice, tel que l'ancien verre Kavalier, employé pour la verrerie de laboratoire, on remplace graduellement la silice par l'acide borique, on constate que non seulement la résistance aux agents chimiques n'est pas améliorée, mais que lorsque la teneur en acide borique a atteint 10 pour cent, elle décroît régulièrement jusqu'au moment où, pour une teneur supérieure à 30 pour cent, il devient possible d'extraire par l'acide chlorhydrique tous les constituants, à l'exception de la silice; on obtient ainsi un squelette de silice ayant la forme de l'objet initial (Turner et Winks 1926). Quelques années plus tard, un ouvrier des Corning Glass Works (Etats-Unis) fit l'étonnante remarque que les squelettes obtenus par extraction à l'acide de verres alcali-oxyde borique-silice, ne se cassaient pas par chauffage poussé, mais diminuaient régulièrement pour donner un verre transparent, de propriétés voisines de celles de la silice fondue transparente. D'où le procédé de fabrication du verre « Vycor ». L'article désiré est fabriqué d'abord en verre alcali-oxyde borique-silice. Il est nécessaire pour des verres de certaines compositions (environ 20 pour cent B_2O_3) d'appliquer un traitement thermique pendant quelques heures, entre 500° et 650° C, au cours duquel le verre se sépare en deux phases, l'une riche en silice et insoluble dans les acides, l'autre riche en oxyde borique et facilement extraite par l'acide. On traite donc l'objet par l'acide, en bain chaud, le temps requis pour l'opération dépendant de l'épaisseur de l'objet. Après lavage de plusieurs heures à l'eau courante, le squelette est chauffé à une température de 900° à 1.000° C. Durant cette période il subit un rétrécissement général d'environ 20 à 30 pour cent dans toutes ses dimensions, et dépendant de la quantité d'oxydes autres

que la silice qui ont été retenus dans le verre; le produit commercial a généralement pour composition 96,5 pour cent de SiO_2 et 3 pour cent de B_2O_3 (Tableau I).

La résistance thermique d'un verre est généralement définie par l'écart de température nécessaire pour faire éclater un échantillon de dimensions standard brusquement refroidi par de l'eau à 20° C. H. Schönborn (1936) a montré que sa valeur varie en raison inverse du coefficient de dilatation thermique linéaire. Ainsi, lorsque l'on expérimenta sur des baguettes de 12 cm × 0,5 cm, les valeurs des résistances thermiques trouvées pour les différents verres étaient: 280°, 170°, 120° et 100° C respectivement et les coefficients de dilatation thermique linéaire correspondants étaient 367, 550, 830 et 1.000 × 10^{-8}.

Le « Vycor » présente ici encore un intérêt particulier. Des mesures effectuées par Saunders (1942) montrent que, tandis qu'à la température ordinaire sa dilatation thermique est environ double de celle du quartz fondu, à 300° C elle est à peu près la même.

En augmentant la teneur en alumine d'un verre on améliore sa résistance aux alcalis, ainsi qu'à l'eau et aux acides; lorsque la silice est remplacée par l'alumine, le coefficient de dilatation thermique reste à peu près inchangé, si bien que la résistance thermique reste élevée. La viscosité élevée de ces verres rend leur fusion et leur formage difficiles et signifie qu'ils ont des points de ramollissement élevés. On les emploie actuellement pour les lampes à vapeur de mercure, pour fabriquer de la verrerie pouvant supporter la flamme nue du gaz, et pour la fabrication de tubes à combustion pour la microanalyse organique.

Le Tableau I montre les compositions et coefficients de dilatation thermique de quelques verres ayant une résistance élevée à la chaleur et aux agents chimiques.

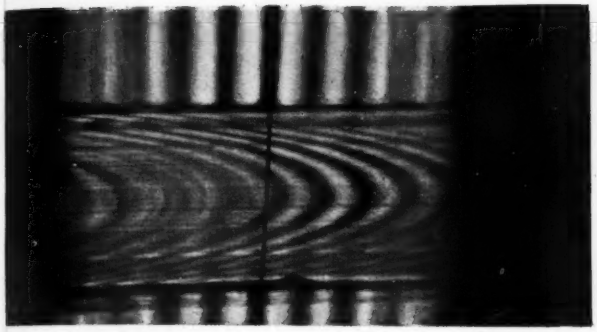
L'éclatement du verre se produisant par suite de chauffage ou de refroidissement brusques et

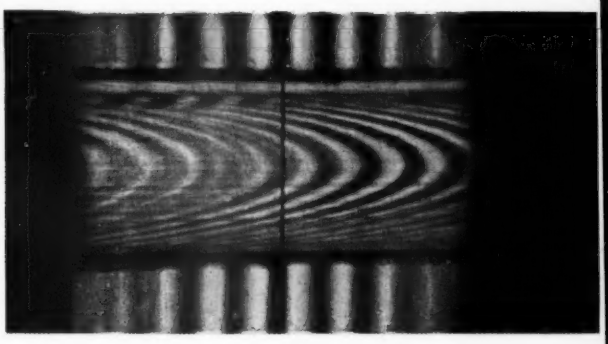
TABLEAU I

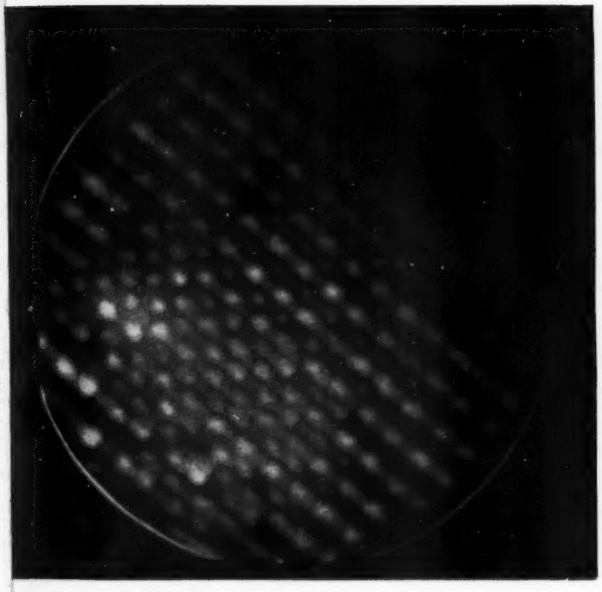
Composition chimique pour cent, coefficient de dilatation thermique linéaire (α) et points de ramollissement de quelques verres pour la fabrication d'appareils de chimie résistants à la chaleur, et d'appareils électriques

Constituants principaux	Résistance chimique et thermique				Appareils électriques					
	Silice fondue	Vycor	Pyrex et Hysil	Verre supportant le contact direct de la flamme	Lampe à vapeur de mercure à haute pression	Verre mou au plomb pour soudures	Redresseurs à arc de mercure	Appareils électroniques en verre dur	Verre pour soudure au tungstène	Verre pour soudure au molybdène
SiO_2	100	96,3	80–81	57,5	58,7	56,6	72,9	75,0	77,0	71,2
B_2O_3 ..		2,9	12–12,5	5,7	3,0	0,2	14,4	18,2	15,4	14,6
Al_2O_3		0,4	3	19,5	22,5	0,8	3,0	1,0	1,1	2,5
CaO		—	0,2	6,5	5,9	—	3,1	0,3	0,4	2,9
MgO		—	—	9,2	8,4	—	—	—	—	—
BaO		—	—	—	—	—	—	—	—	—
PbO		—	—	—	—	30,2	—	—	—	—
Na_2O		0,02	—	1,10	1,1	5,1	2,4	3,4	4,6	3,6
K_2O		—	4	—	0,2	7,2	4,2	1,9	1,9	4,0
α × 10^8										
20°–100° ..	45	80	320/330	410	340	930	—	—	—	—
20°–350° ..	—	—	—	—	—	—	—	—	350	410
Tg–Mg* ..	—	—	825	1000	1350	—	—	—	—	—
Point de ramollissement (viscosité, η = 10^8 poises)	1630°	1420°	780°	—	920°	625°	—	—	—	—

*Nous donnons la valeur des températures entre T_g et M_g de façon à montrer l'importante augmentation du coefficient de dilatation thermique à la température de transformation T_g, dont il est question à la page 10 et sur la figure 1.







En haut, à gauche et à droite (figures 10 et 11): Franges colorées montrant la répartition des contraintes, vues avec un compensateur de Babinet, à travers les arêtes de lames de verre trempées à des tensions égales, respectivement, à 3 kg/mm² (figure 10) et à 7,5 kg/mm² (figure 11). La frange sombre correspond à la tension maximum. Le déplacement de cette frange par rapport à la ligne de repère est plus grand sur la figure 11 que sur la figure 10 puisqu'il correspond à une tension plus élevée.

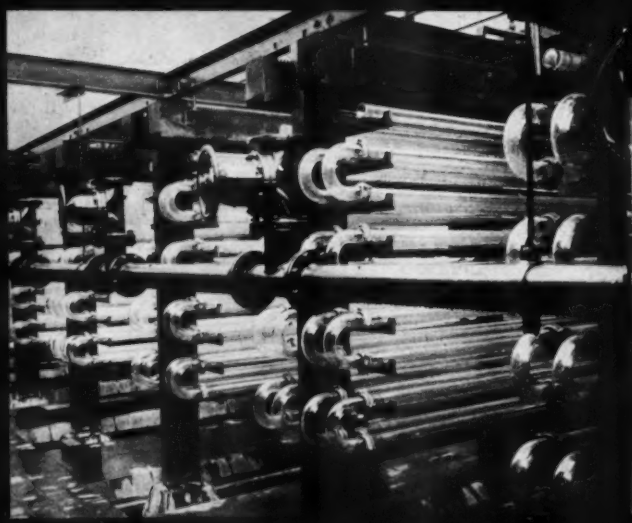
En bas, à gauche (figure 9): Configuration de franges colorées montrant la répartition de contraintes dans une plaque circulaire de verre trempé de 6,3 mm d'épaisseur, observé au polariscope muni d'une «lame onde». Les pare-brise en verre trempé des automobiles présentent un effet similaire.

En bas, à droite (figure 17): Franges colorées, observées au polariscope, produites par un des éléments d'une lampe de T.S.F. Les épais fils de tungstène ont été recouverts de verre avant d'être soudés à l'enveloppe de verre au rétrécissement (la partie solide, plate, obtenue par compression des parois du tube original). La tension maximum se trouve aux limites verre-métal qui correspondent au jaune-orangé; les tensions minimum correspondent aux régions colorées en vert. On a des franges de tensions moins fortes où un large tube de verre a été soudé à un tube plus étroit et imparfaitement recuit, et juste au-dessus du rétrécissement, et dues également à un recuit imparfait.

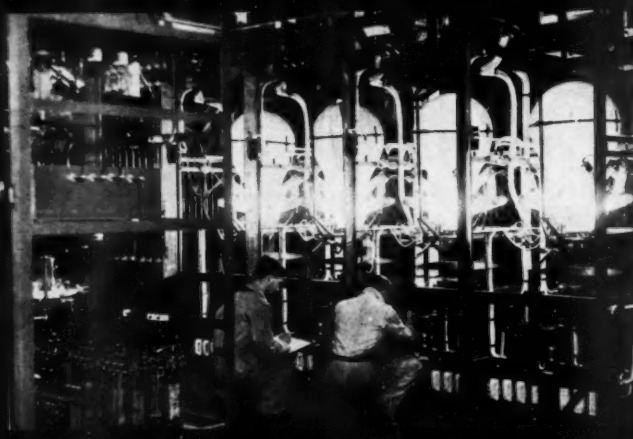
ampe à quatre électrodes à haute puissance, à refroidissement par l'eau, ontrant les progrès réalisés dans la soudure verre à métal. (Figure 15)

Système de tours de condensation dans une usine de produits chimiques (Figure 3)

L'emploi du tour dans la fabrication de grands appareils industriels e verre. (Figure 4)



istallation en plein air d'un système de refroidissement à tubes pour la ibrication industrielle de l'acide chlorhydrique. (Figure 2)



Installation de redresseurs à arc de mercure en fonctionnement, a multi-électrodes de tungstène scellées dans le verre. (Figure 16)

étant dû aux tensions excessives qui se produisent entre les couches inégalement chauffées, une autre méthode applicable aux verres d'épaisseur moyenne (environs 0,476 cm ou plus) pour accroître leur résistance thermique est la trempe. Ce procédé est décrit plus loin, dans le paragraphe relatif á « La Résistance Mécanique de Verre ».

La valeur du point de déformation servira aussi à déterminer les températures entre lesquelles le verre peut être employé. Elle est définie comme étant la température à laquelle il est juste possible de percevoir une déformation causée par un poids léger, à l'aide d'un appareil sensible pour la mesure de la dilatation thermique, jusqu'au début du ramollisement; cette zone de températures correspond sur la courbe de dilatation thermique de la figure 1 à M_g. Le point de ramollissement est plus élevé et correspond à la température pour laquelle la viscosité est égale à 10^8 poises. Comme on le voit dans le Tableau I, on a maintenant des verres à point de ramollissement élevé, voisin de 1.000° C, en dehors du « Vycor » et de la silice fondue.

Les photographies d'installations industrielles, figures 2 et 3, montrent ce que sa transparence et ses qualités de résistance chimique et thermique, jointes à une résistance mécanique suffisante, ont permis de faire au point de vue des applications de verre. On emploie couramment, et d'une façon tout-à-fait satisfaisante, des tuyaux de diamètre allant jusqu'à 30 cm pour le transport de liquides, y compris des acides forts, les tuyaux employés pour ces derniers étant munis de grosses soupapes de commande en verre. La photographie de la figure 4 montre comment le souffleur de verre moderne emploie un tour pour supporter et faire tourner l'objet en cours de fabrication lorsqu'il s'agit d'appareils de grandes dimensions.

RÉSISTANCE MÉCANIQUE DU VERRE

La résistance mécanique peut être déterminée par la résistance à la tension — c'est-à-dire le poids ou la force par unité de surface exactement suffisante pour causer la rupture d'un échantillon d'essai suspendu librement, en position verticale, ou bien par le module de rupture, déterminé en chargeant des baguettes suspendues entre deux points d'appui, la quantité mesurée étant $f = \frac{3\,Wl}{2\,b\,d^2}$ dans laquelle f est le module de rupture; W la charge; l la distance entre les supports; b la largeur et d, l'épaisseur; ou bien encore à l'aide d'essais de résistance au choc, effectués généralement en laissant tomber des billes d'acier de poids différents d'une hauteur connue sur une plaque de verre convenablement supportée par un cadre.

Les valeurs de résistance à la tension trouvées varient entre 475 et 1.260 kg par cm^2; elles sont donc faibles par comparaison avec celles que l'on trouve pour les métaux, suffisamment élevées cependant pour permettre une variété considérable d'emplois pour le matériau. Mais à part la résistance mécanique relativement faible, le verre est fragile et les morceaux cassés sont extrêmement coupants, donc dangereux. Les problèmes qui se posent au fabricant de verre sont, d'une part, augmenter sa résistance mécanique, d'autre part, trouver le moyen d'empêcher les accidents dus aux morceaux coupants, au cas où le verre serait brisé. Avant d'indiquer les diverses méthodes employées pour la résolution, au moins partielle, de ces problèmes, il sera utile de donner au lecteur un résumé de quelques-uns des résultats obtenus au cours des quinze dernières années.

1) Le verre est le plus parfaitement élastique des solides. Sa résistance à la compression est très élevée et n'a probablement jamais été déterminée avec exactitude. La cause de fracture est toujours une tension excessive.
2) En dépit de son apparente rigidité, le verre se comporte, à température ordinaire, comme un liquide à viscosité très élevée, pouvant atteindre 10^{48} poises dans le cas d'un verre commercial soude-chaux-silice (F. W. Preston, 1942) ou bien tomber à 10^{24} poises, d'après des mesures effectués à Sheffield et par extrapolation de valeurs obtenues à 200°–300° C.
3) Les changements de composition des verres n'amènent pas de variations nettes de la résistance. D'autres facteurs masquent ces changements, s'ils se produisent.
4) Le module de rupture est plus bas aux températures ordinaires qu'à 500° C ou à — 200° C (Preston, 1942; Jones et Turner, 1942).
5) Tandis que la mesure des constantes optiques, thermiques et électriques et des autres constantes physiques des verres donne des résultats concordants pour des échantillons comparables, les mesures de résistance mécanique donnent des résultats très différents, si différents, en fait, qu'elles demandent une interprétation statistique.
6) La valeur du module de rupture du verre n'a de sens défini que si elle se rapporte à un échantillon de dimensions standard. Il est probable que si elle est déterminée sur des morceaux relativement grands, la valeur ne

variera pas beaucoup avec la taille. Mais le module de rupture d'une bande croît lorsque la largeur décroît, ainsi que l'indique la figure 5 (Holland et Turner, 1934). Sur de petits échantillons d'essai (les essais ont été faits sur des morceaux mesurant jusqu'à 30 cm), la valeur change aussi avec la distance entre les points d'appui. L'influence de la dimension est mise en évidence de façon frappante dans

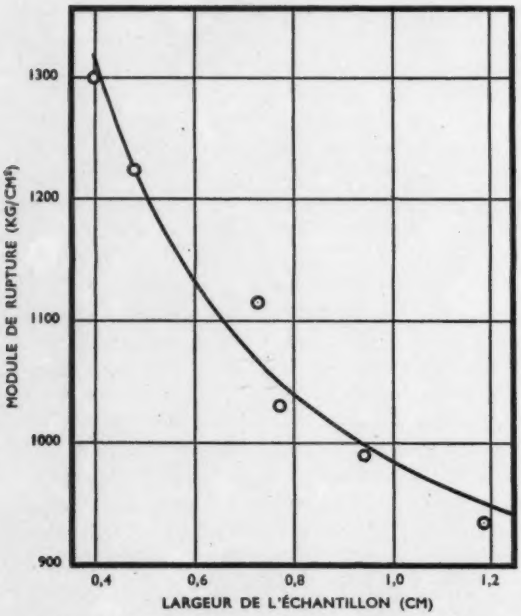


FIGURE 5 – *Effet de la largeur sur le module de rupture de verre à vitre sous forme de lattes.* (*D'après Holland et Turner.*)

le cas de l'énorme accroissement de la résistance à la tension observé lorsque l'on étire de minces baguettes de verre en filaments très fins, comme on le verra sur la figure 6, qui montre les résultats obtenus d'une part par A. A. Griffith (1920) et, d'autre part, par E. J. Gooding (1932). On a fabriqué des filaments extrêmement fins dont la résistance atteignait 126.000 kg par cm² lorsqu'elles venaient d'être étirées. Comme l'a vu Karmarsch (1858) en déterminant la résistance à la tension de fils métalliques, les dimensions des échantillons d'essai influent ici aussi sur les valeurs trouvés. Mais l'accroissement de la résistance lorsque le diamètre diminue est beaucoup plus accentué pour le verre que pour les métaux et l'on verra plus loin les utilisations de ce phénomène particulier.

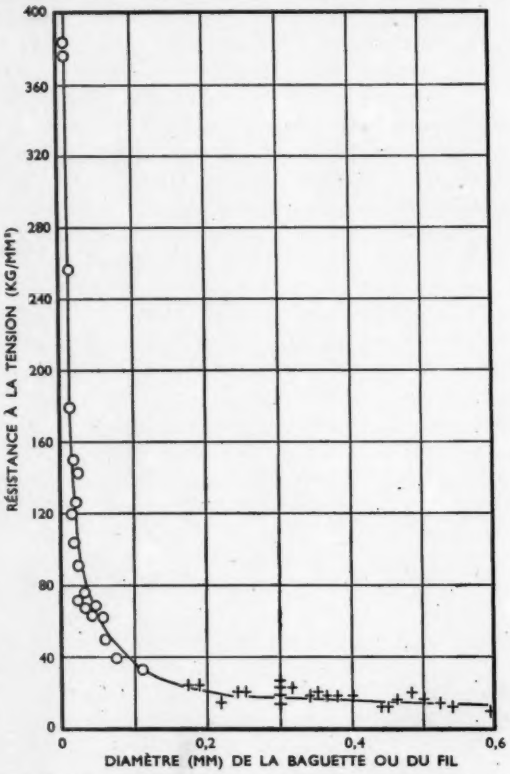


FIGURE 6 – *Rapport entre résistance à la tension et le diamètre de baguettes ou de fils de verre.*
O *Chiffres obtenus par A. A. Griffith* (1920)
+ *Chiffres obtenus par E. J. Gooding* (1932)

7) Tout procédé supprimant les fissures, ou les maintenant fermées, amène une augmentation de la résistance. Le module de rupture croît régulièrement avec le degré de polissage appliqué à une bande de verre mince, découpée au diamant, mais présentant sur ses bords des fissures de différente profondeur (Holland et Turner, 1936). Si l'on scelle ces fissures à la flamme, on amène la résistance à son maximum. On arrive au même effet en fermant les fissures en chargeant le verre de façon à ce que les bords édentés soient comprimés. Le rongeage à l'acide fluorhydrique, qui élimine les fissures existantes augmente de même la résistance.

8) Le temps pendant lequel le poids est appliqué affecte la valeur trouvée. On peut, par conséquent, s'attendre à des résultats différents dans les essais de résistance au choc ou à la charge. Le verre supportera des poids bien plus lourds s'ils sont appliqués pendant un court espace

de temps que s'ils le sont de façon continue (Preston 1942). En fait, des expériences précises (Holland et Turner, 1940) ont montré que pour éviter que l'échantillon de verre ne soit brisé par application continue d'un poids, il est nécessaire de réduire à 30 pour cent le chiffre trouvé pour le poids moyen de rupture, déterminé de la façon habituelle, par application de la charge pendant quelques secondes. On en a déduit une relation empirique, $t = {}_aL^b$, donnant le temps qui s'écoule avant que la rupture se produise; L est la charge; a et b sont des constantes et l'on a $b = 12{,}8$.

9) Le type de fracture du verre dépend de sa résistance. Tout ce qui tend à augmenter celle-ci donne un type de fracture à dessin plus compliqué (craquelures en zig-zag). Des bandes de verre étroites, à bords coupés au diamant, se cassant avec une fracture droite, simple, présentent un aspect de plus en plus compliqué à mesure que l'on réduit les défauts des bords par polissage, soit mécaniquement, soit à la flamme. On constate les mêmes phénomènes pour des verres rendus plus solides par la trempe. La photographie de la figure 7 montre la fracture produite par le choc d'une balle d'acier sur des plaques de verre légèrement, modérément, puis fortement trempées, la complication du dessin augmentant avec la valeur trouvée pour la résistance.

Il est clair d'après ce qui vient d'être dit, que le facteur de sécurité doit être considérable pour les emplois normaux du verre et il doit être déterminé en tenant compte des dimensions des pièces de verre employés. Dans le cas du verre, d'une façon générale, le meilleur moyen d'augmenter sa résistance est de le tremper. Ce traitement a pour résultat de « congeler » les forces de compression superficielles, ce qui retarde la formation des fissures. Ces forces compressives ne seront donc neutralisées que par application d'efforts de tension considérables. Le procédé de « durcissement » du verre par la trempe est connu depuis longtemps. On connaît bien l'example cité par Merrett (1662) des « larmes » de Rupert; mais l'application de ce phénomène à l'échelle industrielle n'a réussi qu'au cours des quinze dernières années. Les premiers échecs furent causés par la difficulté d'obtenir l'homogénéité du verre et un chauffage suivi de refroidissement uniforme des pièces traitées. En 1929 les Glaceries de Saint-Gobain, en France, connurent le succès en traitant le verre sous sa forme la plus simple, c'est-à-dire sous forme de plaques, et peu de temps après les glaces traitées par la chaleur et renforcées furent d'un emploi courant pour les pare-brise d'automobiles. La figure 8 montre le principe de cette fabrication: le verre est chauffé uniformément aux environs de 610° C, enlevé du four et refroidi rapidement et uniformément à l'aide d'un courant d'air froid. L'extérieur devient rigide, tandis que l'intérieur reste chaud et plastique, ce qui a pour résultat la production de forces de compression considérables agissant sur les couches extérieures, et d'efforts de tension à l'intérieur.

Grâce à ce traitement, il est possible de rendre la résistance au poids et au choc dix fois plus grande, tandis que la résistance à la torsion est largement accrue; en pratique l'opération est réglée de façon à produire une résistance trois à six fois plus grande que celle de la plaque originale. Ainsi, les échantillons légèrement, modérément et fortement trempés, visibles sur la figure 7 (A, B, et C), ont été traités de façon à présenter des tensions maximum respectivement égales à 2, 4 et 6,5 kg/mm². La photographie en couleurs

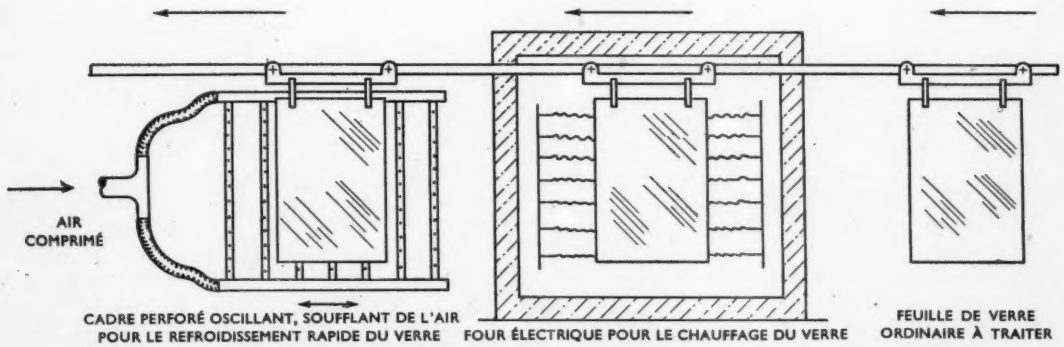


FIGURE 8 – *Diagramme montrant la trempe (renforcement) du verre à glace par exposition d'une plaque chauffée uniformément à un courant d'air sur les deux faces.*

(figure 9) montre un dessin caractéristique obtenu en examinant de face une vitre à l'aide d'un polariscope muni d'une « lame onde »[1] de mica. Les figures 10 et 11 ont été prises au travers des arêtes des plaques de verre examinées à l'aide d'un compensateur de Babinet. Les plaques avaient été trempées de façon que les tensions respectives soient égales à 3 et à 7,5 kg/mm² et ce résultat avait été obtenu en les refroidissant de leur température maximum à la température ordinaire, l'une en 240 secondes, l'autre en 55 secondes.

Il faut ajouter que chaque pare-brise est soumis en cours de fabrication à un essai mécanique, à l'action d'un marteau par exemple, et la configuration de la contrainte est examinée en lumière polarisée.

Pour illustrer le succès de cette méthode de réglage de la trempe, la figure 12 montre la façade du pavillon du verre, érigé par les Glaceries de St. Gobain pour exposer leurs produits à l'exposition de 1937 à Paris. Les murs sont faits de blocs de verre creux et l'escalier circulaire de l'entrée se compose de plaques de verre trempé, transparentes ou noires, sur lesquelles sont passés journellement des milliers de personnes. On a employé avec succès des plaques trempées transparentes ou noires, dans les constructions comportant de larges devantures vitrées, pour parer aux changements brusques de température. L'expérience acquise a permis d'étendre le procédé de trempe à des objets de forme moins simple, comme, par exemple, les verres de lampes de

[1] On appelle « lame onde » une lame biréfringente telle que la différence de marche des raies ordinaire et extraordinaire est égale a un nombre entier de longueurs d'onde.

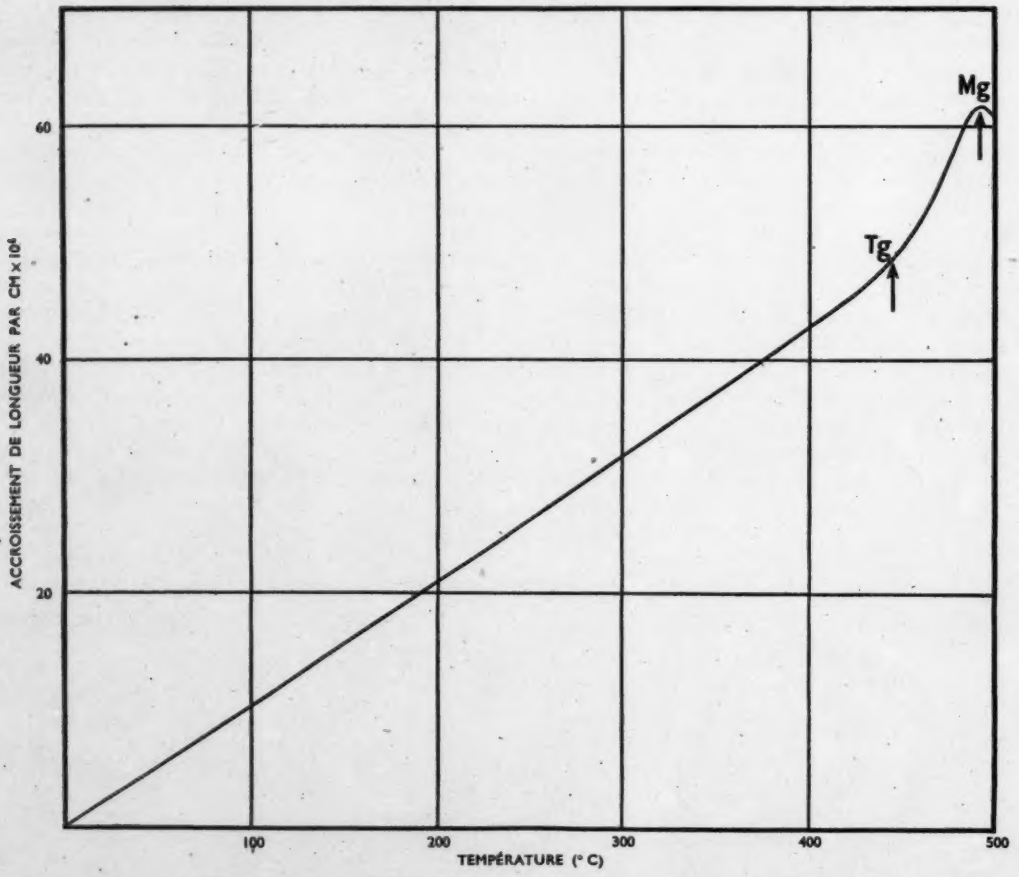
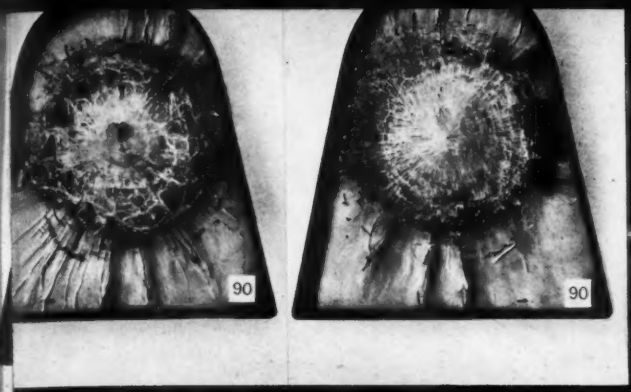
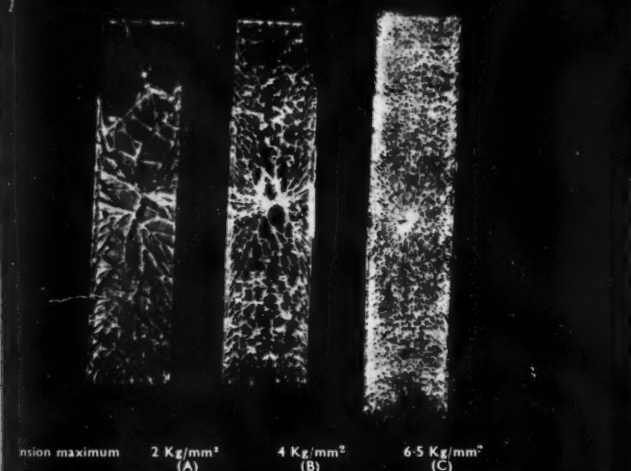


FIGURE 1 – *Courbe de dilatation thermique d'un verre soude-potasse-oxyde de plomb-silice, de la température ordinaire à la température de déformation. La courbe monte plus rapidement à certains intervalles, même aux températures inférieures à* T_g (445° C).



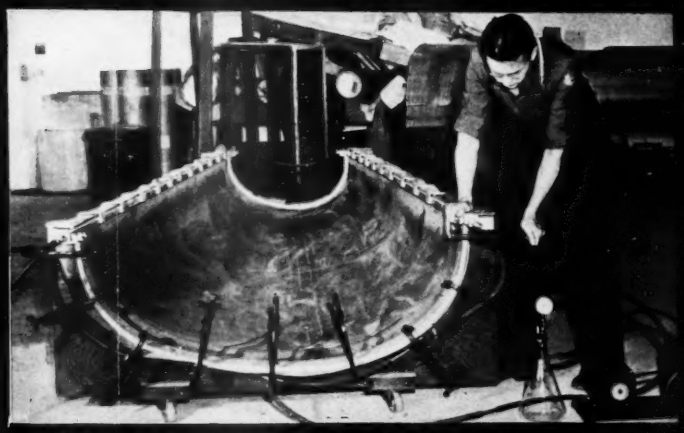
s de face et de derrière d'une fenêtre de bombardier après percussion une balle perforante 0,303. (Figure 14)
gauche: panneau vu de face. A droite: panneau vu de derrière.



pes de fracture de verre obtenus en faisant tomber une bille d'acier ure 7). A gauche: (A) verre légèrement trempé. Au centre: (B) modérément trempé («durci»). A droite: (C) verre fortement npé.

lateurs à haute tension en verre trempé, en position sur un réseau ctrique. (Figure 13)

Le pavillon érigé par les Glaceries de la Compagnie de Saint-Gobain à l'Exposition de Paris de 1937, composé de blocs de verre et comprenant un escalier en dalles de verre trempé (« renforcé »). (Figure 12)



Préparation d'un fuselage d'avion américain en matière plastique renforcé de fibres de verre. (Figure 26)

Filaments de verre tordus pour donner de fils. (Figure 21)

Echeveaux de fibres de verre étirées par l'ancien système continu. (Figure 19)

Fibres de verre (grossières) présentant une grande surface, employées pour garnir des colonnes à distillation pour la fabrication industrielle de l'alcool. (Figure 24)

Métier à tisser fonctionnant avec de la fibre de verre. (Figure 25)

Fibre de verre obtenue sous forme de matelas continus par le procédé moderne de soufflage à la vapeur. La figure montre le découpage en morceaux qui peuvent être doublés. (Figures 22 et 23)

mineurs, les lentilles destinées à être fixées dans du ciment et à des objets d'usage domestique tels que les verres de table. L'une des applications les plus remarquables de ce procédé fut, il y a environ sept ans, son emploi dans les isolateurs de grande dimension pour lignes de haute tension. En Amérique du Nord et en France, les isolateurs de verre pour lignes téléphoniques, télégraphiques et à haute tension sont d'un usage très généralisé. En Grande Bretagne les isolateurs de porcelaine étaient de si bonne qualité qu'ils avaient conquis le marché, mais l'application de la trempe aux isolateurs de verre pour courant à haute tension par une certaine firme, leur a conféré de notables avantages sur tous les autres types. La résistance au poids et au choc est élevée. La figure 13 est une photographie d'un isolateur de ce type employé sur l'une des lignes de la Central Electricity Board, du pays de Galles du Sud.

Du point de vue protection contre les accidents dus au verre cassé, on constate dans ce cas que les morceaux résultant du bris de verre trempé peuvent être irréguliers et causer des écorchures, mais à l'encontre du verre ordinaire, ils ne sont pas coupants et peuvent être manipulés sans danger.

Un autre procédé employé pour résoudre cette question du bris du verre consiste à le feuilleter (c'est-à-dire à insérer une couche intermédiaire mince de matière plastique, telle que l'acétate de cellulose ou un acétate vinylique, entre deux feuilles ou plaques de verre). Il trouve son application en temps de guerre dans la fabrication de lunettes protectrices, de fenêtres d'avions de bombardement ou de tanks. La fenêtre d'observation du bombardier est généralement constituée par plusieurs plaques de verre séparées par des couches de matière plastique. Les deux photographies de la figure 14 montrent respectivement l'avant et l'arrière d'un panneau expérimental constitué par cinq plaques de 4,75 mm; 19 mm; 4,75 mm; 4,75 mm et 4,75 mm, réunies par quatre couches d'acétate de cellulose ayant chacune 0,635 mm d'épaisseur, le panneau étant employé de façon à présenter la plaque de 19 mm d'épaisseur vers l'extérieur. Pour les essais, les panneaux sont montés de façon à faire un angle de 45° avec la ligne de tir et l'on emploie des projectiles 0,303 Mark I dont la vitesse est connue. Il s'agit qu'aucun éclat ne se détache de la face arrière.

On a employé pour la fabrication d'ustensiles de cuisine en verre qui doivent supporter le chauffage direct à la flamme, le procédé de trempe par immersion dans des bains de sel fondu. Dans ce cas la composition du verre est telle (Tableau I) qu'il présente un point de ramollissement et une température de recuit élevés, si élevés en fait, que lorsqu'on les chauffe directement à la flamme au cours d'une opération culinaire quelconque, les tensions déterminées par la trempe originale ne sont pas libérées et que l'objet garde ses résistances mécanique et thermique élevées.

COMBINAISONS VERRE–MÉTAL

On connaît depuis longtemps les combinaisons obtenues par dépôt d'argent, de cuivre, de platine ou d'or sur des surfaces de verre, pour fabriquer des miroirs ou dans un but décoratif. Il faut ajouter à cette énumération l'aluminium déposé par évaporation et qui sert à fabriquer la surface réfléchissante du télescope de 508 cm. On obtient un radiateur électrique pratique et élégant en vaporisant une grille d'aluminium sur une plaque de verre trempé. Dans tous les cas cités, sauf celui du radiateur verre-aluminium, l'emploi normal des objets n'implique pas une température élevée et la couche de métal est très mince. Il n'y a donc pas de tension notable entre le métal et le verre. Le cas des nombreux et très divers dispositifs électriques est tout autre. On rencontre les combinaisons les plus variées d'enveloppes de verres de différentes compositions et propriétés et de longueurs allant de 6 mm à 1 m, et des métaux les plus divers, soit sous forme de fils, de baguettes, de feuilles, de tubes ou de cylindres. Quelques-uns de ces objets sont très compliqués comme, par exemple, la lampe à quatre électrodes à refroidissement à eau de la figure 15, et les redresseurs à arc de mercure de la figure 16, dans lesquels les pôles sont constitués par des filaments de tungstène qui, pendant l'emploi, produisent un rayonnement calorifique jaune.

Etant donné la grande différence de conductivité thermique qui existe entre les métaux et le verre, il se forme inévitablement des tensions à un moment quelconque du refroidissement après soudure (figure 17), ainsi que pendant l'emploi si l'on fait passer des courants élevés. Le problème général réside donc dans le choix des matériaux et dans la proportion des diverses parties à souder, de façon que les tensions formées ne dépassent pas la tension maximum du verre employé, pour l'épaisseur et la forme considérées. On a admis depuis longtemps comme un axiome que les coefficients de dilatation thermique de deux verres ou d'un verre et d'un métal que l'on veut souder doivent être très voisins. En fait, il y a d'autres facteurs importants. Ainsi que l'ont

montré Housekeeper (1923) et d'autres chercheurs, comme Hull et Burger (1928), il existe encore divers moyens d'obtenir de bonnes soudures même dans le cas où les différences de coefficients de dilatation thermique s'y opposent. On peut, par exemple, employer des verres mous et des métaux malléables, ou régler l'épaisseur du verre et du métal d'après la surface à souder.

D'une façon générale, les facteurs favorables à l'obtention d'une bonne soudure sont:

1) Coefficients de dilatation thermique suffisamment voisins pour les deux substances à souder, qu'il s'agisse d'une soudure verre à verre ou verre à métal.
2) L'emploi d'un ou deux verres ayant des coefficients de dilatation thermique intermédiaires entre deux matériaux présentant une différence considérable entre ces coefficients. On dispose en Grande Bretagne d'une grande variété de verres pour gaines extérieures et, de plus, on trouve onze qualités commerciales de verres « classés » ou « intermédiaires », dont les coefficients de dilatation thermique varient entre 380 à 1.020×10^{-8}, présentant entre eux des différences presqu'uniformes de 60 à 70 unités.
3) Emploi de verres mous et de métaux malléables. L'emploi d'un *tampon* entre le métal et le corps principal en verre permet dans certains cas d'obtenir une bonne soudure. Les fils de cuivre, par exemple, sont généralement enduits de borax anhydre. Hull, Burger et Navias obtiennent encore une bonne soudure fer-verre au plomb après avoir enduit du fil métallique avec un verre soude-chaux-magnésie-silice, du type employé pour les ampoules électriques.
4) Emploi de métaux à surfaces nettes, exemptes d'oxydes, de trous, de rayures, d'égratignures ou de fines raies, bien que la formation d'une mince couche d'oxyde favorise parfois l'adhérence en se dissolvant dans le verre (le platine fait exception).
5) Un recuit de la soudure effectué avec soin.
6) Dessein de la forme à donner aux parties à souder en tenant compte de l'épaisseur, de la surface et de l'angle de contact.

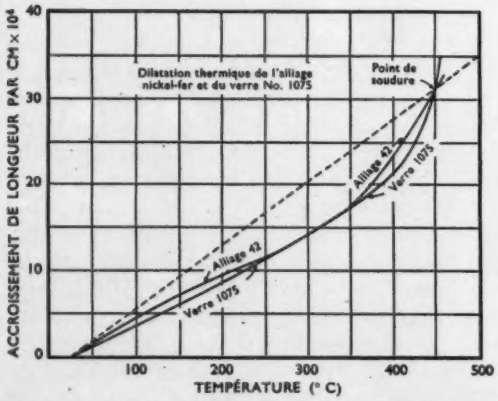


FIGURE 18 – *Courbes de dilatation thermique de l'alliage nickel-fer No.* 42 *et du verre No.* 1075 *auquel il est soudé.* (*D'après Hull, Burger, et Navias.*)

La nécessité d'avoir des coefficients de dilatation thermique voisins s'impose non seulement à la température ordinaire, mais encore jusqu'aux environs de la température de soudure. La vitesse de dilatation thermique des différents verres n'est pas uniforme entre ces deux points. A certains moments le coefficient de dilatation linéaire augmente brusquement de 5 à 15 pour cent et à certaines températures désignées sous le nom de températures de transformation, T_g, il peut augmenter de 200 à 1.000 pour cent. La figure 1 (p. 10) est la courbe de dilatation thermique d'un verre au plomb employé pour les lampes de T.S.F. En général, les métaux ne présentent pas non plus des vitesses de dilatation uniformes. On a beaucoup employé pour les soudures avec le verre les métaux suivants, dont le coefficient de dilatation linéaire ($\times 10^8$), entre 0° et 350° est indiqué: platine (940), tungstène (440) molybdène (550) et cuivre (1.690). On emploie depuis longtemps et avec succès le platine parce que les coefficients de dilatation thermique de verres ordinaires alcali-oxyde de plomb et alcali-chaux varient entre 860 et 950. Lorsque l'on introduisit l'emploi de tungstène et de molybdène pour les filaments métalliques de lampes, on fabriqua des verres à coefficients de dilatation thermique très voisins pour effectuer la soudure. En dehors des quatre métaux mentionnés, les alliages nickel-fer « Fernico » dont les coefficients de dilatation thermique varient largement suivant la composition, sont très employés, tant seuls qu'avec une mince pellicule de platine ou de cuivre. On emploie aussi beaucoup les alliages fer-chrome pour les appareils électroniques modernes. La figure 18 montre la concordance à laquelle sont arrivés Hull, Burger et Navias (1938) avec un alliage fer-nickel (Fernico No. 42) contenant 57,8% Fe; 41,5% Ni; 0,5% Mn; 0,2% Si; et le verre No. 1075, de composition 34% SiO_2; 28% B_2O_3; 7% Al_2O_3; 29% PbO et 2% Na_2O.

Il y a cependant des cas où la similarité des coefficients de dilatation thermique n'est pas suffisante pour obtenir une bonne soudure de deux verres ou d'un verre et d'un métal. Ainsi il peut

arriver qu'un verre transparent et un verre opaque aient des coefficients de dilatation thermique presque semblables pour toute une série de températures et cependant ils se brisent facilement une fois soudés si l'on ne tient pas compte de la différence de leurs températures de recuit et de la nécessité d'opérer à une température intermédiaire. On peut également obtenir une excellente soudure avec des verres présentant une différence de vitesse de dilatation thermique de 10 pour cent pourvu que l'on prenne la précaution de polir soigneusement les surfaces de façon à obtenir un contact intime, et que l'on apporte un soin particulier à l'opération de trempe, après la soudure à chaud. Il faut encore ajouter que le fer a toujours été plus difficile à souder au verre que le cuivre, bien que son coefficient de dilatation thermique soit beaucoup plus voisin de celui des verres ordinaires que celui de cuivre. Il est très important pour éviter l'accumulation de tensions excessives que l'un des composants de la soudure, ou les deux, puissent céder sous l'action des forces de tension. Cette condition se trouve remplie: 1) si la viscosité du verre est relativement faible et si le métal est malléable — 2) si l'un d'eux ou si tous deux sont employés en couches minces. La viscosité des verres au plomb à 550° C est environ 1.000 fois plus faible que celui des verres alcalichaux (Boow et Turner, 1942) et au moins 10.000 fois plus faible que celui du Pyrex et du verre Hysil. Les différences sont probablement encore plus grandes à la température ordinaire. Les verres au plomb sont par conséquent plus facilement susceptibles de céder à l'action des tensions internes que les autres verres ordinaires. Il est intéressant de noter que, depuis des générations, les souffleurs de verre fondent une perle de verre mou au plomb sur un fil de platine pour former la jonction entre les parois d'un appareil de verre et aussi que plusieurs des meilleurs verres à souder modernes renferment de 20 à 30 pour cent d'oxyde de plomb. Ainsi les trois verres spéciaux de composition fixée par Hull, Burger et Navias (1941), contiennent tous environ 30 pour cent de PbO. Parmi les métaux, le cuivre est particulièrement malléable et, parce que les tensions le déforment facilement, on peut sans peine le souder à une large variété de verres. Un tube de verre dont le coefficient de dilatation thermique est 1670×10^{-8} peut être soudé à l'une de ses extrémités à du Pyrex et, à l'autre, à un verre au plomb. Le succès de ces opérations repose sur l'effilage des parois des tubes de verre et de cuivre de façon qu'elles soient très minces à la jointure; les soudures peuvent ainsi donner sous l'action des forces de tension et, grâce à cela, rester intactes.

Comme le préconisait Housekeeper en 1923 et comme l'ont encore montré de chercheurs modernes, c'est, dans une large mesure, la considération soigneuse de la surface, de l'épaisseur et de l'angle de contact du verre et du métal qui a contribué au succès de la construction d'appareils électroniques modernes et d'autres dispositifs électriques dans lesquels le verre et le métal se trouvent unis.

LA FIBRE DE VERRE ET SES APPLICATIONS INDUSTRIELLES

Quelques-unes des propriétés particulières du verre trouvent une application spéciale lorsqu'il est étiré sous forme de filaments (figure 19), bien que la transparence n'existe plus. L'industrie des fibres de verre a pris une importance considérable et les conditions créées par la guerre l'ont extraordinairement développée.

Les fibres de verre sont stériles, incombustibles, résistantes à l'eau et, d'une façon générale, chimiquement inactives. Elles présentent une grande surface par unité de poids et, lorsqu'on les emploie en quantité, elles enserrent si bien l'air qu'elles sont excellentes comme isolants calorifiques et sonores. Si elles sont fabriquées à partir de verres exempts d'oxydes alcalins, leur résistance électrique est très élevée. Leur emploi varie aussi avec le diamètre de la fibre et, selon les besoins, on en fabrique de grossières ou d'extrêmement fines. Comme on l'a dit dans le chapitre précédent, la résistance à la tension du verre augmente considérablement à mesure que le diamètre de la fibre diminue. Cette haute résistance à la tension et ce faible diamètre s'accompagnent d'une facilité toute particulière à être courbée, ou, autrement dit, à former des boucles et des nœuds. Le succès de la fabrication de tissus repose sur l'emploi des fibres les plus fines que l'on puisse obtenir actuellement. Enfin, on cherche de nouvelles applications permettant de tirer avantage de la résistance à la tension extrêmement élevée que possèdent les filaments de verre.

On a employé, au cours des dix dernières années, quatre procédés d'étirage des fibres de verre, deux s'appliquant aux fibres courtes et les deux autres pour fibres continues. La figure 20 illustre le principe employé pour l'obtention de fibres continues. Le verre est fondu électriquement dans un four à tubes dont la partie inférieure, ou cuve, est percée de minuscules orifices par lesquels le verre fondu sort et forme des « larmes ». L'opérateur saisit l'extrémité de l'une de ces

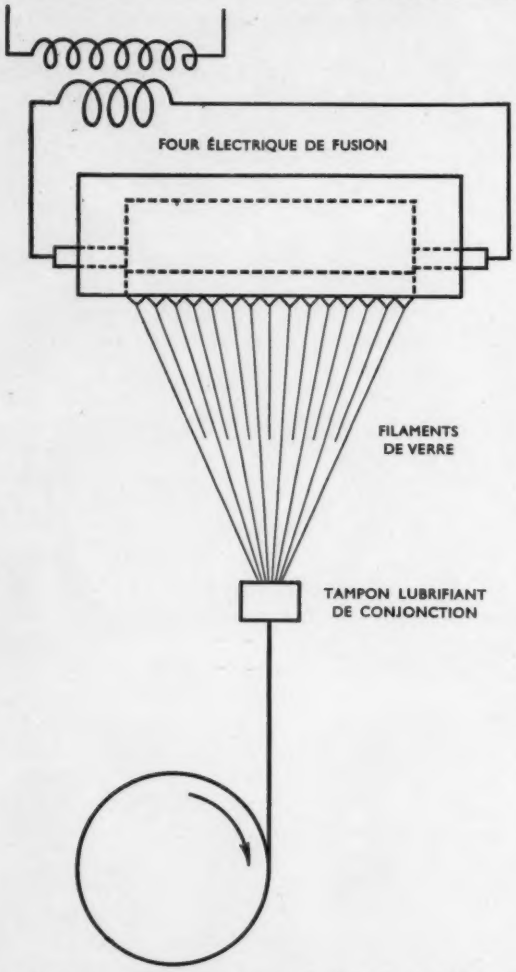


FIGURE 20 – *Diagramme montrant l'étirage de la fibre de verre par le procédé continu.*

larmes et l'étire rapidement en un fil, dirigé alors sur un tambour dont la rotation rapide continue l'étirage à une vitesse de 1.830 m par minute. Ces fours peuvent être en porcelaine dure, en sillimanite ou toute autre matière réfractaire; mais les orifices subissent une action corrosive et, par conséquent, s'agrandissent; pour cette raison, on emploie de plus en plus des cuves en platine. Les cuves sont percées de deux rangées parallèles de cinquante-et-un trous chacune. Les cent-deux filaments sont étirés en même temps et amenés sur un tampon de conjonction (vu sur la figure 20), sur lequel ils sont lubrifiés pour éviter qu'ils ne se rayent mutuellement et ils sont réunis en un seul fil continu. Pour activer la production, on a introduit récemment l'emploi de cuves à quatre rangées de cinquante-et-un trous, donnant ainsi deux-cent-quatre filaments, qui sont combinés en un seul fil. Au stade suivant, ces fils sont tordus en une seule corde qui peut réunir jusqu'à douze fils, c'est à dire 2.448 filaments.

Le procédé de soufflage à la vapeur est employé pour la production massive. Dix cuves de platine ou plus sont placées au fond d'une large chambre, alimentée de façon continue avec du verre fondu provenant d'un grand four à réservoir. Un dispositif de soufflage à tubes est placé juste au-dessous des orifices des cuves de platine. De la vapeur à haute pression, dirigée vers le bas, étire les filaments des orifices, à une vitesse élevée, et les amène dans une chambre située au-dessous. Là, ils sont lubrifiés, réunis sous la forme d'un épais matelas continu (environ 7 à 8 cm d'épaisseur) qui passe alors sur un transporteur sans fin (*voir* figures 22 et 23). A l'extremité du transporteur, le matelas est coupé à la guillotine et peut être doublé avec de la toile enduite d'un adhésif. Sous cette forme, on l'emploie en construction, comme isolant thermique ou sonore — pour filtrer l'air et dans certains procédés chimiques. Le nombre de ses applications spéciales est très grand. La photographie (figure 24) montre l'emploi de fibres de verre grossières comme surface de contact dans la distillation industrielle.

La fibre pour l'électricité est employée sous forme de fil pour recouvrir du fil de cuivre pour l'induit, ou sous forme de ruban ou de tissu pour câbles. Ses propriétés comme isolant électrique et thermique étant supérieures à celles du coton, un moteur ainsi isolé peut supporter une bien plus grande surcharge.

En combinaison avec des matières plastiques, les fibres de verre trouvent encore des applications spéciales.

TABLEAU II

Comparaison de la résistance de fusilages de différentes matières

Structure du fuselage	Poids de l'échantillon essayé (kg)	Poids de rupture (kg)	Rapport de la résistance au poids
Tissu de verre—matière plastique balsa	35,5	1175	33
Aluminium ..	32	702	22
Contreplaqué de bouleau ..	39	716	18

Episodes sensationnels dans l'histoire de la science en Grande Bretagne

ALLAN FERGUSON

La découverte scientifique n'est pas une chose aussi sèche et précise que Francis Bacon aurait voulu nous le faire croire. Elle a ses éclairs d'inspiration et ses moments d'émotion. En de telles occasions le flegme britannique désapprouverait la « vulgarité » française des baisers de Pasteur et froncerait certainement les sourcils devant le mépris d'Archimède pour la bienséance; mais cela ne veut pas dire que les savants britanniques ne soient pas émus par des épisodes aussi sensationnels que ceux que nous décrit ici le professeur Ferguson.

On attribue ordinairement à la vie d'un homme de science un caractère calme et uniforme, et une absence complète d'imprévu et de couleur. La vérité (souvent assez mal connue) est, qu'un savant est au fond un artiste avec toutes les intuitions d'un artiste et toute sa sensibilité. Kékulé, qui fut un rêveur invétéré — sa rêverie sur un omnibus de Clapham aux environs de 1850, lorsqu'il voyait les atomes danser devant ses yeux, fut à l'origine de sa *Structurtheorie*—a résumé avec sagacité un aspect des activités d'un savant en ces termes: « Apprenons à rêver . . . et nous trouverons, peut-être, la vérité; mais gardons-nous de publier nos rêveries, avant qu'elles n'aient été éprouvées par notre intelligence éveillée».

FIGURE 1 – *Henry Cavendish* (1731–1810).
(D'après un dessin du British Museum.)

Il y a beaucoup d'appartements dans l'immeuble de la science, et il y a de la place pour l'enthousiaste Davy, tout autant que pour le doux et réservé Darwin et pour le taciturne Cavendish d'une timidité morbide qui, selon un biographe, prononça moins de mots durant toute sa vie, près de quatre-vingts ans, que n'importe quel autre homme, fût-il un moine trappiste.

En vérité, il y a dans la vie d'un savant bien des moments que Davy ou Rutherford reconnaîtraient certainement comme sensationnels, mais que le prudent et froid Cavendish ne qualifierait pas ainsi. L'acteur en effet ne perçoit pas toujours la portée émotionnelle d'un évènement; le spectateur est parfois mieux à même de l'apprécier, bien que sa signification ne lui apparaisse souvent que beaucoup plus tard. Et l'évènement n'est pas toujours important par lui-même — l'effet dramatique n'est pas toujours proportionnel à la grandeur de l'occasion. Par exemple, lorsque Newlands en 1866 lut à la « Chemical Society» de Londres un article où il faisait remarquer que si les éléments étaient arrangés dans l'ordre de leur poids atomique, il se produirait une récurrence périodique des propriétés, un éminent et sceptique membre de l'auditoire demanda à Newlands s'il avait essayé de voir ce qui serait arrivé si les éléments étaient rangés par ordre alphabétique. Cet incident est tout au moins un avertissement pour les humoristes malavisés.

La scène qui se déroula en 1860, lors d'une réunion de la « British Association » entre T. H. Huxley et l'Evêque Wilberforce fut plus sensationnelle encore et d'un ordre d'importance tout à fait différent. Darwin avait publié l'*Origin of Species* en 1859 et la théorie Darwinienne était très discutée à la réunion de l'Association en 1860. L'Evêque — brillant orateur, versé en dialectique, mais d'esprit peu scientifique — avait été préparé pour son discours par l'éminent zoologiste Richard Owen. A un moment il se tourna vers

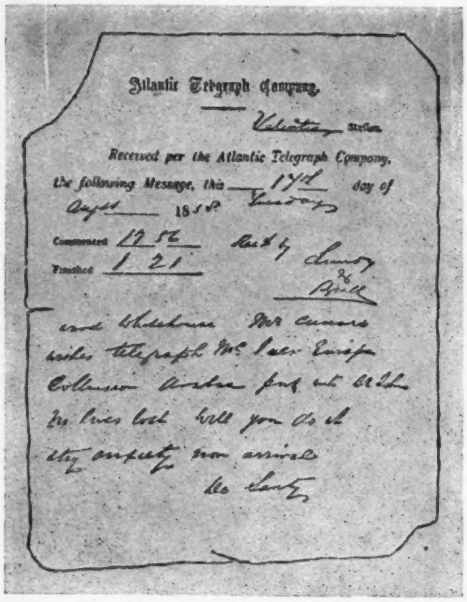
Huxley et « avec une souriante insolence le pria de lui dire si c'était par son grand-père ou par sa grand'mère qu'il prétendait descendre d'un singe? » C'en était assez. Huxley, frappant son genou de la main, murmura à ses voisins: « Dieu l'a livré entre mes mains ». Dans sa réplique, Huxley, ayant réfuté les arguments scientifiques avancés par l'Evêque, se tourna vers lui et répondit à sa question personnelle dans des termes si sarcastiques, si sévères et en même temps si pleins de dignité, que le bruit des applaudissements s'amplifiant à mesure que l'auditoire comprenait la signification exacte de sa réplique finit par couvrir ses paroles. Il nous est bien difficile de savoir quels furent les termes exacts de la réplique de Huxley. Le rapport de l'historien John Richard Green est, de toutes les versions, celle qui est le plus généralement acceptée: « J'ai affirmé — et je répète — qu'un homme n'a pas de raisons d'avoir honte de posséder un singe comme grand-père. S'il y avait un ancêtre dont je serais honteux d'évoquer la mémoire, cet ancêtre serait plutôt un homme — un homme à l'esprit agité et versatile, qui, non content d'un succès équivoque dans sa propre sphère d'activité, se mêle de questions scientifiques qu'il ne connaît pas, et ne réussit qu'à les obscurcir par une rhétorique sans but et à distraire l'attention de ses auditeurs de l'issue cherchée par des digressions éloquentes et des appels adroits aux préjugés religieux ».

FIGURE 2 – *Caricature de Thomas Henry Huxley* (1825–95).

Un autre épisode sensationnel qui a toujours intéressé l'auteur de cet article, se produisit aux environs de 1870, lorsque Clerk Maxwell découvrit, en éditant quelques manuscrits inédits de Cavendish, que celui-ci était arrivé en 1781, à des conclusions correctes sur la résistance électrique, et avait anticipé la Loi d'Ohm de près d'un demi-siècle.

Cavendish fut le plus étrange des mortels; timide, réservé et taciturne, il fut, autant que sa nature froide le lui permit, consumé d'une passion pour les mesures exactes. Pour lui, le monde extérieur consistait en une série d'objets qu'il devait peser et mesurer aussi exactement que ses moyens le lui permettaient: et l'exactitude de Cavendish fut remarquable! Non moins remarquable fut son indifférence à la publication de ses travaux. Dans les travaux qu'il a publiés on trouve, néanmoins, quelques indications remarquables que la postérité ferait bien de noter. Ainsi, dans son article sur la composition de l'air nous lisons: «. . . de sorte que, si notre atmosphère renferme une proportion quelconque d'air phlogistiqué (azote) différent du reste . . . nous pouvons conclure sans crainte d'erreur que cette fraction est inférieure à 1/120ème de la totalité». On se demande si cet autre moment sensationnel — celui où l'on annonça à la fin du XIXème siècle la découverte de l'argon, un nouveau constituant de l'atmosphère — n'aurait pas pu avoir lieu une ou deux générations plus tôt si les chimistes avaient pleinement apprécié la signification des paroles de Cavendish.

Mais retournons à ses recherches en électricité — particulièrement à celles qui traitent de la mesure de la résistance. La date (1781) doit être retenue. La pile voltaïque ne devait être découverte que vingt ans plus tard et le galvanomètre plus de quarante ans plus tard. La seule source d'électricité que Cavendish possédât était une machine à friction, et, fait remarquable, il était son propre galvanomètre! Sa méthode était caractéristique et originale. Ayant chargé une batterie de bouteilles de Leyde à un degré indiqué par un électromètre de Coulomb, il déchargeait la batterie alternativement à travers les résistances à comparer et, pour chaque expérience, à travers lui-même, afin de pouvoir estimer mentalement l'intensité du choc ressenti dans son bras. Il modifiait les résistances,


Atlantic Telegraph Company.

Received per the Atlantic Telegraph Company, the following Message, this 17th day of August 1858

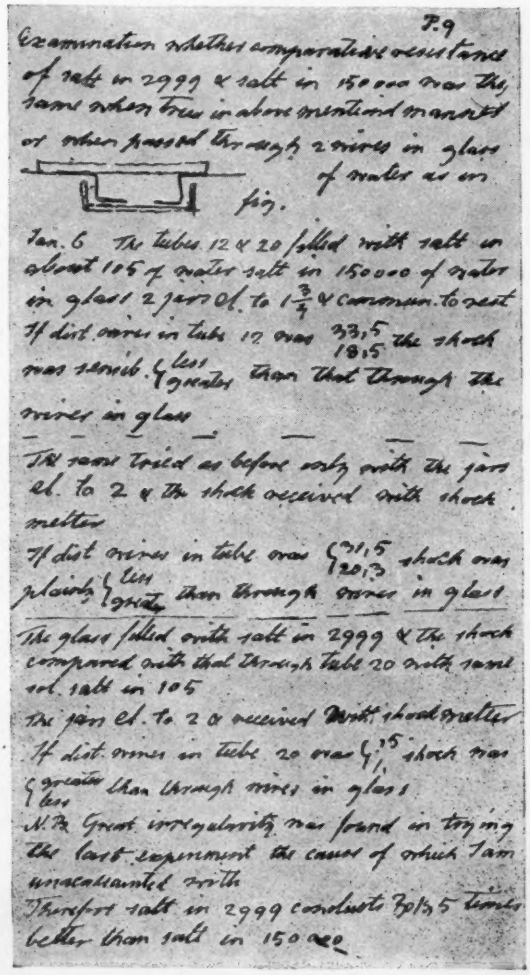
Commenced 12 56

Finished 1 21

FIGURE 3 – *L'un des premiers messages télégraphiques transmis par le premier câble transatlantique.*

généralement des solutions salines, contenues dans des tubes de dimensions connues, jusqu'à ce qu'il estime que les chocs étaient de même intensité. Si nous considérons la méthode, nous ne pouvons qu'admirer l'exactitude des résultats obtenus par Cavendish. On peut lire en effet dans l'article de Maxwell au sujet des chiffres donnés par Cavendish afin de démontrer la résistance relative du fil de fer et d'une solution de sel marin: « Cela revient à dire que le fil de fer est 555.555 fois plus conducteur qu'une solution saturée de sel marin. Une comparaison entre les expériences de Matthiessen sur le fer et celles de Kohlrausch sur les solutions de chlorure de sodium à 18° C donnerait le rapport 451.390. La résistance du fer augmente et celle de la solution diminue avec l'élévation de la température, et, à une température d'environ 11° C, le rapport des résistances s'accorderait avec celui de Cavendish ». Maxwell se rendait compte de la portée de sa découverte, et son enthousiasme ne connut pas de bornes. Il répéta les expériences de Cavendish d'après les méthodes de ce dernier et il insistait pour que les visiteurs du laboratoire essayassent eux-mêmes l'appareil à mesurer les chocs. Les résultats furent parfois désastreux, surtout dans le cas d'un savant éminent qui s'inquiétait de sa dignité personnelle bien plus qu'il ne s'intéressait aux méthodes expérimentales employées par Cavendish.

Si l'on considère l'importance des résultats, quelle portée sensationnelle présente l'entrevue entre l'astronome Halley et Newton en 1684, entrevue qui, plus que tout autre cause, eut une influence déterminante sur le cours des sciences physiques durant plus de deux siècles! La loi de la gravitation était très discutée par les membres de la « Royal Society », encore en bas âge. Déjà au commencement du XVIIème siècle Kepler, après de nombreuses années de patients calculs, avait énoncé et établi ses trois lois sur les mouvements des planètes. Il n'est pas difficile de déduire la loi de l'inverse du carré de la troisième loi de Kepler, et plusieurs astronomes, y compris


P. 9

Examination whether comparative resistance of salt in 2999 & salt in 150000 was the same when tried in above mentioned manner or when passed through 2 wires in glass of water as in fig.

Jan. 6 The tubes 12 & 20 filled with salt in about 105 of water salt in 150000 of water in glass 2 jars el. to 1 3/4 & common to rest If dist. wires in tube 12 was 33,5 18,5 the shock was sensib. less greater than that through the wires in glass

The same tried as before only with the jars el. to 2 & the shock received with shock meter

If dist wires in tube was 21,5 20,3 shock was plainly less greater than through wires in glass

The glass filled with salt in 2999 & the shock compared with that through tube 20 with same sol. salt in 105

The jars el. to 2 & received with shock meter

If dist. wires in tube 20 was 1,5 shock was greater less than through wires in glass

N.B. Great irregularity was found in trying the last experiment the cause of which I am unacquainted with

Therefore salt in 2999 conducts 20,5 times better than salt in 150000

FIGURE 4 – *Une page d'un manuscrit de Cavendish.*

FIGURE 5 – *Sir Isaac Newton* (1642–1727).

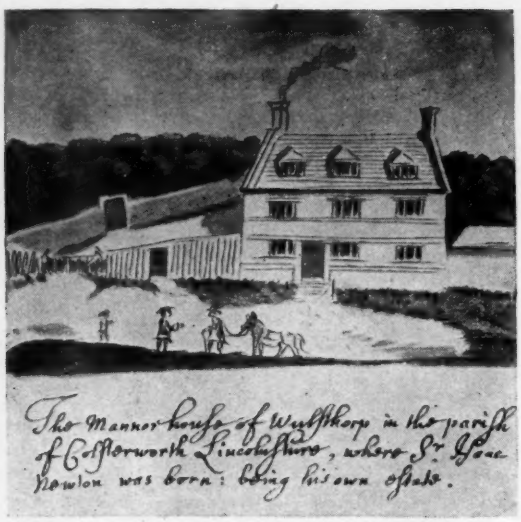


FIGURE 6 – *Lieu de naissance de Newton, Woolsthorpe.*

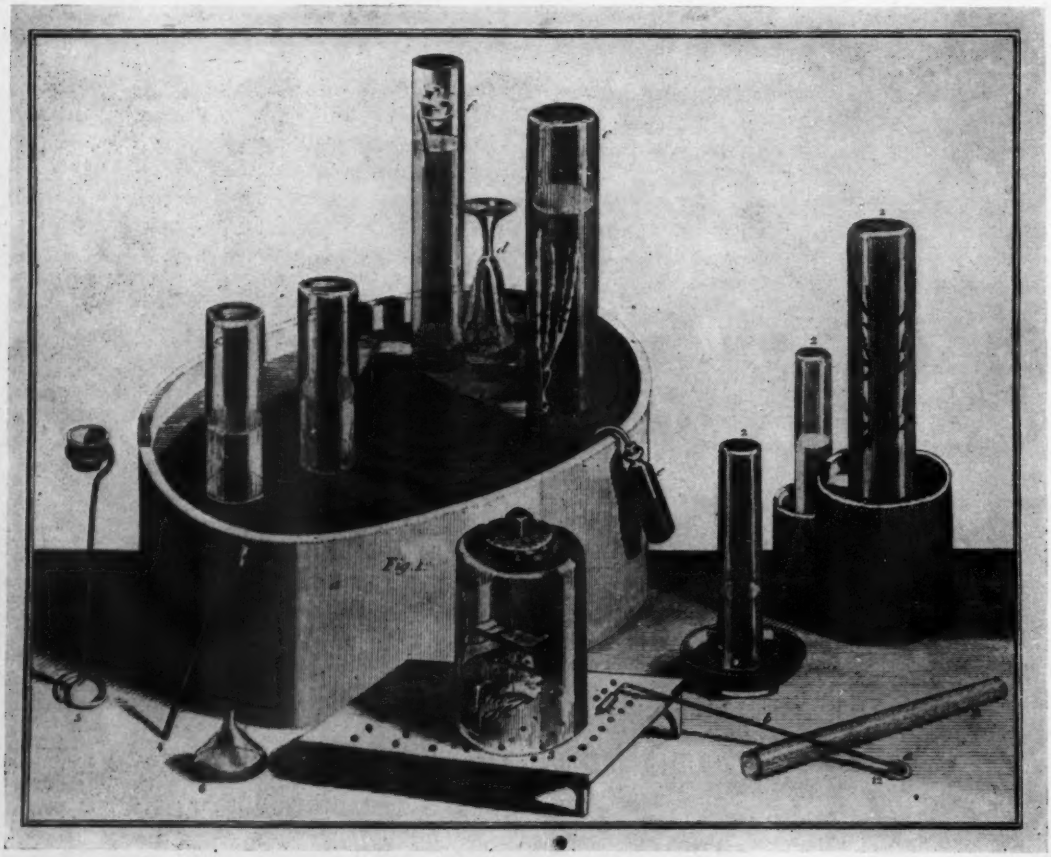


FIGURE 7 – *Quelques appareils de Priestley.*

Halley, l'ont fait, mais le problème inverse — étant donnée la loi de l'inverse du carré, calculer le chemin possible de la planète — déjouait tous les efforts. Halley, Hooke et Wren avaient discuté le problème ensemble et, selon Halley, Hooke « affirma que c'était sur ce principe que toutes les lois des mouvements célestes devaient être démontrées et que lui-même l'avait fait. . . . Je me souviens néanmoins que Sir Christopher était peu convaincu et bien que Hooke promit de lui en faire la démonstration, je ne crois pas que dans ce cas particulier il ait réussi à tenir sa parole ». Enfin Halley apporta ses problèmes à Cambridge chez Newton, et l'on peut concevoir son étonnement quand il trouva que Newton avait résolu le problème inverse et plusieurs autres problèmes des mouvements célestes, mais qu'il avait mis ses notes de côté et ne pouvait plus les retrouver. Peut-on concevoir au vingtième siècle un candidat au titre de Docteur en Philosophie poursuivant ses recherches d'une façon aussi désintéressée? Le fait est que Newton considérait que la science est « une femme litigieuse » et avait à publier ses travaux une aversion comparable à celle de Cavendish. Il fallut tout le tact, tout l'enthousiasme et toute la force persuasive de Halley pour réussir à forcer Newton à présenter ses théories sous une forme coordonnée: et il y eut plus d'un moment pénible, comme celui où Newton menaça de retirer le manuscrit de son troisième livre parce qu'il avait appris que le principal prétendant, Hooke, avait avancé des assertions de priorité. Mais Halley triompha et en juillet 1686 le livre reçut le permis d'imprimer de Samuel Pepys, président de la « Royal Society », sous les auspices duquel (et avec l'argent de Halley) le livre fut publié. Assurément, si l'on pense à l'influence énorme que les *Principia* ont exercée sur le développement des sciences physiques et si l'on essaye de réaliser quelle direction ce développement aurait pris, si les *Principia* n'avaient pas été écrits, l'entrevue de Halley et de Newton par cette journée d'août à Cambridge, il y a 260 ans, doit être considérée comme un des moments les plus sensationnels de l'histoire de la science en Grande Bretagne.

La science appliquée a eu également ses moments sensationnels et le récit de la pose du premier câble transatlantique est plein d'incidents dramatiques. Ce récit épique contient toute la gamme des émotions, tragédie, comédie, farce, lorsqu'un expert naval affirma « qu'il n'était besoin d'aucun autre instrument pour filer le câble que d'un anspect pour l'empêcher de glisser », l'accomplissement triomphal de la tâche et enfin la panne du câble, après l'envoi de 732 messages en trois mois. En établissant le solde du succès et de l'insuccès de ces premiers essais, on doit se souvenir que ceux-ci avaient lieu à peine vingt ans après la pose du premier câble sous-marin (à travers le Hooghly à Calcutta). C'était une installation assez primitive, un fil de métal enduit de poix, enveloppé de rotins fendus et recouvert de cordage goudronné.

Un grand travail préliminaire dut être exécuté: il fallut mettre au point le type et les dimensions du câble; imaginer un nouvel appareil destiné à la pose; enfin, il fallut trouver le moyen de loger le câble à bord du bateau. Une fois ces difficultés surmontées, l'*Agamemnon*, prêté par le gouvernement britannique, et le *Niagara*, de la marine américaine, quittèrent Valentia, en Irlande, le 5 août 1857. Le *Niagara* devait mouiller la première moitié du câble; ceci fait, il s'agissait d'épisser les deux câbles au milieu de l'océan, et le travail devait être continué par l'*Agamemnon*. Mais le récit de la première tentative parle de difficultés croissantes et de désastres, qui culminent au moment où le câble se rompit quand on avait réussi à en mouiller 380 milles sans incidents. Durant les essais de l'année suivante (1858) les bateaux se rencontrèrent au milieu de l'océan, épissèrent le câble et repartirent dans des directions opposées. C'est un récit presqu'incroyable de tempêtes (où l'*Agamemnon* faillit chavirer), de perte du câble, de messages qui n'arrivaient pas, de dangers de collision avec des navires et des monstres marins (en effet c'est tout juste si un jour une baleine ne frôla pas le câble) et de rendez-vous décourageants au milieu de l'océan et en Irlande. Mais *Finis coronat opus* et en août 1858, après une série de voyages qui furent une longue succession d'épisodes dramatiques, des messages furent échangés entre les deux continents. Et pourtant une catastrophe se préparait encore. La science de l'électricité était embryonnaire et les connaissances en grande partie empiriques. L'électricien responsable (et non pas le professeur William Thomson, qui devint plus tard Lord Kelvin) croyant que rien n'était trop bien, insista sur l'emploi d'une bobine d'induction longue de 1 m 50: le résultat sur l'isolant fut désastreux et la ligne s'arrêta court en octobre 1858. Ce fut sensationnel jusqu'au bout, le dernier mot compréhensible du câble fut: « en avant ». Les ingénieurs mécaniciens résumèrent

(*Suite à la page* 34)

Virus des végétaux

KENNETH M. SMITH

Les virus occupent une situation intermédiaire entre les organismes vivants et les substances chimiques inertes. Ils sont extrêmement petits, les dimensions de certains d'entre eux sont du même ordre que celles des molécules. Jusqu'à maintenant il n'a été possible de cultiver aucun virus dans un milieu privé de cellules. Voilà quelques-uns des faits remarquables cités dans cet article par le Dr Smith qui décrit les effets de certains virus responsables de maladies de la tomate, du tabac, et d'autres plantes.

INTRODUCTION

L'appellation « virus », qui vient du latin et signifie poison, est maintenant appliquée exclusivement à un type particulier d'agent pathogène. Les virus forment une classe à part et ils se distinguent des micro-organismes pathogènes visibles par les caractères suivants: tout d'abord leur taille extrêmement petite, allant de la limite de la visibilité jusqu'aux dimensions moléculaires; deuxièmement leur association étroite avec les cellules vivantes, on n'a pu cultiver aucun virus dans un milieu privé de cellules; et troisièmement leurs rapports intéressants avec les insectes qui sont indispensables à leur transport sur de nouveaux hôtes.

L'importance économique des virus est très grande. Il semble qu'aucune forme d'organisme vivant ne soit à l'abri de leurs attaques, et la somme totale des maladies, des pertes, et des souffrances dont ils sont responsables est presque égale à celle des mêmes maux causés par les bactéries pathogènes. Les virus présentent également un grand intérêt philosophique par suite de la position qu'ils occupent à la limite des organismes « vivants » et des substances chimiques « non vivantes ». Ils possèdent d'une part, des propriétés incontestables des organismes vivants telles que le pouvoir de se multiplier et de subir des mutations, et d'autre part, des propriétés particulières à des substances chimiques telles que la cristallisation [7].

QUELQUES MANIFESTATIONS DES MALADIES À VIRUS CHEZ LES VÉGÉTAUX

Jusqu'à ce que les progrès récemment réalisés nous aient permis d'aborder le problème avec des méthodes nouvelles, les réactions de l'organisme infecté étaient à peu près le seul indice de la présence d'un virus. Les réactions des végétaux sont extrêmement variées et nous allons décrire et illustrer ici quelques-uns des symptômes les plus remarquables. Nous pouvons grouper en une classification sommaire les types de réactions que présentent les végétaux aux infections par les virus; mais il ne faut pas oublier qu'une telle classification n'a que peu de rapports avec les virus eux-mêmes, puisqu'un seul virus peut produire de nombreux types différents de maladies selon l'espèce de la plante atteinte.

L'un des types les plus communs de maladies à virus chez les végétaux, est connu sous le nom de « mosaïque », et il existe un très grand nombre de virus produisant des mosaïques. Ce nom a été donné par Mayer, aux environs de 1885, à une maladie causée chez le tabac par le premier virus qui ait été découvert, à cause de la prétendue ressemblance des symptômes avec un dessin de mosaïque. La figure 1 montre cette maladie de la mosaïque du tabac qui est caractérisée par une moucheture des feuilles qui sont couvertes de taches vert clair ou vert foncé et jaunes. Quelques maladies de la mosaïque sont tout-à-fait remarquables, et peuvent ressembler, avec leurs jaunes et leurs verts brillants, à une bigarrure naturelle. Quelques-unes de ces mosaïques à mouchetures jaune vif sont fatales à la plante par suite de la disparition de la chlorophylle.

Un autre type de symptôme est la formation sur les feuilles de nombreux anneaux, concentriques ou isolés. Ces anneaux ont généralement une tache en leur centre, et les virus produisant des symptômes de ce genre sont connus sous le nom de virus « ringspot » (*voir* figures 10 et 11). Dans les cas graves il peut y avoir jusqu'à sept ou huit anneaux concentriques. Bien que l'on ait suggéré de nombreuses explications de ce phénomène de Liesegang, il est probable que l'on ne connaît pas encore la véritable.

D'une façon générale les maladies à virus chez les plantes ne sont pas fatales; mais il existe des virus qui tuent certaines plantes. Dans ces cas là, il se forme souvent des lésions étendues sur les

FIGURE 1 – *Plant de tabac infecté par la souche type du virus de la mosaïque du tabac. Remarquer la moucheture verte peu marquée.*

FIGURE 2 – *Souche du virus de la mosaïque du tabac causant une bigarrure vert et jaune vifs. Comparer avec la figure* 1.

feuilles et les tiges, elles empêchent l'arrivée des substances alimentaires et de l'eau, la plante se fane et meurt. Un autre groupe de virus produit des malformations et des déformations et quelquefois des excroissances à la face inférieure des feuilles. Ces excroissances sont appelées « énations » et sont en réalité de petites feuilles anormales croissant à la face inférieure de la feuille normale (*voir* figure 5).

Certains virus stimulent la croissance des plantes, d'autres la retardent. L'un d'eux inhibe la croissance en hauteur et stimule la croissance en largeur, tandis qu'une autre souche du même virus agit exactement en sens contraire. Dans la maladie causée par ce virus on voit quelquefois des fleurs géantes portées par une tige épaisse et longue seulement de 2 à 3 cm [3]. Il arrive que les virus provoquent chez certaines plantes ornementales des symptômes qui les embellissent. La bigarrure décorative que l'on rencontre chez une espèce d'*Abutilon*, qui était très largement cultivée à une certaine époque, est due à un virus transmissible par greffe. Le changement de couleur des fleurs de tulipes, connu sous le nom de « breaking », est dû à un virus transmis par les pucerons. Les tulipes infectées par ce virus et qui ont normalement des fleurs d'une seule couleur produisent alors des fleurs ornées de délicates mouchetures ou de fins dessins blancs ou jaunes.

IMMUNITÉ ET SOUCHES DE VIRUS

Comme il ne semble pas y avoir formation d'anticorps chez les végétaux, il n'existe pas d'immunité acquise vis-à-vis des virus comme dans le règne animal. Les plantes présentent cependant une forme d'immunité acquise, mais extrêmement limitée. Cette immunité dépend de la présence dans les tissus de la plante d'un autre virus ayant une parenté quelconque avec le virus pathogène. En d'autres termes, il faut que les cellules de la plante soient déjà occupées par un virus qui « défend le terrain » contre l'attaque d'un second virus; mais pour que cette défense joue, il faut que le second virus soit de la même nature que le premier.

Il est nécessaire d'expliquer ici ce que l'on entend par « virus apparenté ». Certains virus comportent plusieurs souches extrêmement voisines, et ce phénomène n'est pas particulier aux virus des végétaux. On le rencontre par

FIGURE 3 – *Souche causant un autre type de bigarrure jaune et vert.*

FIGURE 4 – *Cette souche ne produit pas de moucheture mais un jaunissement intense, fatal à la plante. La photographie montre le début du jaunissement.*

FIGURE 5 – *Souche produisant de curieuses excroissances ou énations à la face inférieure des feuilles. Ce virus a été*

FIGURE 6 – *Le même virus que sur la figure 2, la figure montre ses effets sur la tomate.*

FIGURE 7 – *Souche donnant naissance à des anneaux verts et jaunes.*

FIGURE 8 – *Virus analogue à celui de la figure 7.*

FIGURE 9 – *Mosaïque jaune vif ressemblant à celle de la figure 2 mais causée par un virus entièrement différent*

FIGURE 10 – *L'un des virus du type « ringspot », qui n'est*

FIGURE 11 – *Résultat d'une expérience sur l'immunité croisée entre deux virus du type « ringspot »: noter les plus petits anneaux dus au second virus, se développant parmi les anneaux plus grands produits par le premier. Ceci indique que ces deux virus ne sont pas apparentés.*

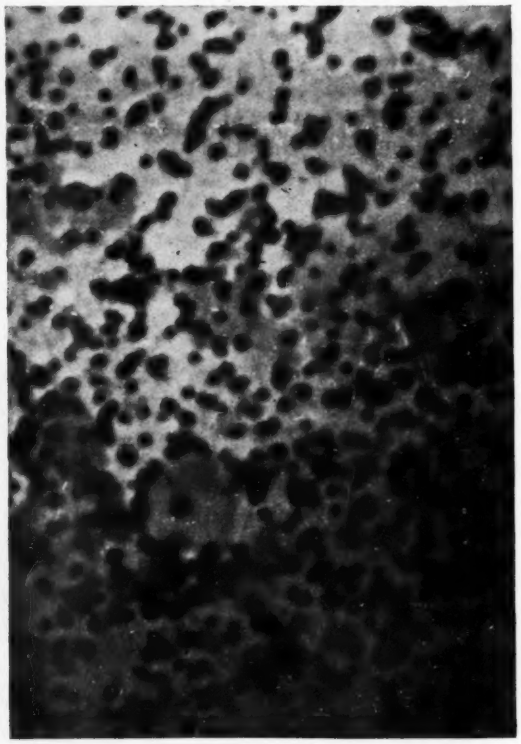


FIGURE 12 – *Photographie au microscope électronique du virus de la nécrose du tabac* (*grossissement* 38.000).

exemple chez les virus de la fièvre aphteuse et de la grippe. Il se produit tout particulièrement chez le virus de la mosaïque du tabac (figure 1) qui subit fréquemment des mutations donnant naissance à des souches présentant des tableaux symptomatiques entièrement différents tout en gardant des propriétés physiques semblables à celles du virus original. Nous donnons dans cet article des illustrations de quelques-unes de ces souches et mutations. La figure 1 représente le virus type qui donne une mosaïque à mouchetures vertes sur les feuilles de la plante atteinte. De cette souche peuvent en dériver d'autres qui, ainsi qu'on peut le voir sur les photographies, produisent des symptômes très différents. L'une d'elles donne des mouchetures vert très brillant et jaune (figure 2); une autre produit des taches jaunes, cette dernière maladie est rapidement fatale à la plante qui meurt par manque de chlorophylle (figure 4). Une troisième provoque le développement d'excroissances ou énations sur les feuilles (figure 5). Une autre mutation ne donne pas de diaprure ou très peu, mais elle est fatale à la plante par suite de la destruction cellulaire qu'elle provoque.

Chacun de ces virus confère à la plante l'immunité acquise dont nous avons parlé précédemment. Il faut noter cependant, que si l'on inocule *en même temps* à une plante saine un ou plusieurs de ces virus apparentés, ils pénètreront tous dans les tissus de la plante et les symptômes seront une combinaison des symptômes caractéristiques de chaque virus. L'immunité est conférée seulement par un virus qui a eu le temps d'atteindre toutes les parties de la plante.

La figure 9 représente une mosaïque jaune qui est en apparence très semblable aux autres mosaïques jaunes illustrées ici, mais qui est en réalité causée par un virus différant entièrement par toutes ses propriétés du virus de la mosaïque du tabac. Cette maladie est causée par une mutation jaune du virus de la mosaïque du concombre;

ceci montre combien le tableau symptomatique peut être décevant au point de vue du diagnostic. Une plante infectée par ce virus peut être infectée par toutes les souches de la mosaïque du tabac que nous avons représentées, et toutes les plantes infectées par ces virus sont susceptibles d'être également infectées par le virus de la mosaïque du concombre. Ce virus de la mosaïque jaune du concombre protège la plante infectée par lui contre l'atteinte d'une souche verte du virus de la mosaïque du concombre, et vice versa. Cette sorte d'immunité acquise peut donc permettre de vérifier s'il y a ou non parenté entre deux virus qui donnent des symptômes analogues mais non identiques.

Nous avons parlé plus haut dans cet article d'un type de symptômes produits par un virus des végétaux et qui consiste dans l'apparition sur les feuilles de taches formées d'anneaux concentriques. On connaît en tout sept ou huit souches de virus donnant ces taches en anneaux, certaines semblent être apparentées les unes aux autres, mais d'autres ne le sont pas du tout malgré la similarité des symptômes.

La figure 11 montre le résultat d'une épreuve d'immunité croisée. Un plant de tabac entièrement infecté par un virus qui provoque la formation de grands anneaux, a été ensuite inoculé avec un autre virus produisant des anneaux plus petits. Une feuille présentant de larges anneaux a été frottée doucement avec de la sève contenant le deuxième virus. Au bout d'une semaine environ, des anneaux plus petits commencèrent à se former sur la feuille, sur les anneaux déjà formés et autour d'eux. On peut voir sur la figure 11 les deux types d'anneaux. Le résultat de cette épreuve indique que ces deux virus provoquant sur les feuilles de tabac la formation de taches en anneaux, ne sont pas apparentés.

TRANSMISSION DES VIRUS

Les virus diffèrent de la plupart des autres agents pathogènes par le fait que, dans de nombreux cas, ils ont besoin des insectes pour être transportés sur de nouveaux hôtes. Ceci n'est pas particulier aux virus des végétaux, et tout le monde connaît le rôle des moustiques dans la propagation de la fièvre jaune.

Les rapports des virus et des insectes sont souvent très spécifiques, et certains virus ne peuvent être propagés que par un certain type d'insecte, quelquefois même par une certaine espèce. Les insectes transporteurs ou « vecteurs » des virus des végétaux appartiennent presque exclusivement à un seul Ordre, celui des Hémiptères, ce sont des insectes tels que les pucerons qui sucent la sève des plantes au moyen de leurs pièces buccales. Cette relation entre les virus des végétaux et les insectes vecteurs n'est pas simple et l'on ne sait pas grand'chose à ce sujet. Par exemple on n'est pas d'accord sur la question de savoir si les virus des végétaux se reproduisent ou non à l'intérieur des insectes qui les transmettent, bien que l'on ait de bonnes raisons de croire que certains virus des animaux, comme celui de la fièvre jaune et un virus affectant les chevaux, se multiplient à l'intérieur des moustiques qui les transportent. Il a été démontré [8] que dans l'ensemble, les virus qui sont transmis par les insectes se rangent en deux groupes: celui du type « non persistant », dans lequel le virus est rapidement perdu par l'insecte, et celui du type « persistant » dans lequel l'insecte reste porteur du virus pendant de longues périodes sans avoir eu accès à une nouvelle source du virus. La plupart des virus appartenant à ce dernier groupe ne sont transmissibles que par les insectes, il ne peuvent l'être par inoculation mécanique de la sève. On ne connaît dans les Iles Britanniques que deux insectes vecteurs: les aphides ou pucerons, et les thrips. Ces derniers qui sont parmi les quelques insectes vecteurs n'appartenant pas au groupe des hémiptères, transmettent le virus de la fanaison tachetée (« spotted wilt ») de la tomate, bien connu de ceux qui cultivent la tomate et les plantes ornementales en serre.

QUELQUES VIRUS CURIEUX DES VÉGÉTAUX

Parmi les quelques 150 virus des végétaux qui ont été décrits jusqu'ici, quelques-uns sont peu courants et présentent certains caractères intéressants. L'un d'entre eux, appelé virus de la nécrose du tabac, se rencontre fréquemment dans les racines de plantes saines en apparence, particulièrement du tabac. Ce virus reste dans les racines et ne détermine aucun symptôme de maladie à l'exception de quelques lésions qui peuvent se former sur les premières feuilles de très jeunes plants de tabac, surtout lorsqu'elles sont au contact du sol. Mais si, après avoir broyé au mortier un fragment de racine infectée, on frotte doucement les feuilles d'un plant de tabac ou de n'importe laquelle des autres plantes sensibles, avec le liquide ainsi obtenu, de nombreuses lésions se développent. Il est donc possible de cette façon de provoquer chez une plante une maladie grave en la lui inoculant à partir de ses propres racines. Ce virus n'est pas transmis par les insectes mais

il est transporté dans l'eau ou dans l'air par des particules de tissus morts provenant des plantes infectées. Il parvient de cette façon dans le sol et là semble pénétrer dans les racines à la faveur de quelque insignifiante blessure.

En 1935 un virus nouveau fit soudainement son apparition sur quelques plants de tomates dans la région de Bristol et dans une ou deux autres régions d'Angleterre, puis disparut complètement. On en avait cependant conservé des échantillons dans de nombreux établissements de recherche et il a été étudié très soigneusement au cours des neufs dernières années. C'est peut-être sur ce virus (« bushy stunt ») de la tomate que l'on est le mieux renseigné; nous en parlerons un peu plus loin. Néanmoins, malgré la masse considérable de connaissances acquises sur ce virus, on n'a pu découvrir encore la façon dont il se propage dans la nature, et on n'a pu trouver aucun insecte vecteur. Il est par conséquent intéressant qu'il ait fait brusquement sa réapparition au bout de neuf ans, au cours de l'été de 1944, sur des tomates de la région de Worcester (Angleterre). Il n'a malheureusement été possible d'obtenir aucun renseignement nouveau sur cette dernière manifestation, ni de découvrir l'origine de l'infection.

On peut dire du troisième virus peu commun des végétaux que, contrairement à celui de la tomate, c'est le virus sur lequel on est le moins bien renseigné. En réalité on ne s'apercevrait même pas de son existence si, dans certaines conditions produites artificiellement, on ne voyait apparaître les symptômes qui le caractérisent. Ce virus (« paracrinkle ») fur découvert par hasard en greffant des scions de plants, sains en apparence, appartenant à la variété de pomme de terre King Edward, sur certaines autres variétés [5].

On peut résumer brièvement les faits principaux concernant ce virus. Il existe sans déterminer de symptômes apparents dans toutes les pommes de terre appartenant à la variété King Edward, y compris l'espèce mutante Red King; il n'atteint dans les conditions naturelles aucune autre variété ni aucune autre plante; et l'on n'en connaît aucun processus naturel de transmission. Au laboratoire, il ne peut être transmis que par greffe, et si l'on en infecte par cette méthode certaines variétés de pommes de terre telles que l'Arran Victory, il en résulte une affection grave. Cette maladie peut être transmise indéfiniment en série; certaines variétés de pomme de terre telles que la variété Président, supportent ce virus comme la King Edward elle-même sans présenter de symptômes de maladie.

L'existence d'un virus de cette espèce soulève une question à laquelle il est difficile de répondre de façon satisfaisante: Comment le premier plant de King Edward a-t-il pu être infecté par ce virus? Il n'existe apparemment aucun moyen naturel de propagation et on ne l'a jamais rencontré dans les conditions naturelles sur aucune autre variété de pomme de terre ni sur aucune autre plante. Si le premier plant de King Edward était venu d'un autre pays, on pourrait supposer qu'il existe un insecte vecteur spécifique qui ne se trouve pas en Grande Bretagne, mais nous n'avons aucune raison de penser qu'il en soit ainsi. Il semble que ce soit un jardinier du Northumberland qui produisit ce premier plant qu'il appela tout d'abord Fellside Hero; ce nom fut remplacé par la suite par celui de King Edward. On ne connaît pas l'origine de ce plant [6].

On a souvent émis l'hypothèse que le virus « paracrinkle » ferait partie des protéines normales de la pomme de terre King Edward et qu'il se comporterait comme un virus lorsqu'il pénètrerait dans une autre variété de pomme de terre [2]. Mais, aussi séduisante que soit cette hypothèse, elle n'est pas confirmée par les faits connus, puisque, si le virus était une protéine normale il devrait être transmis par les graines de la pomme de terre, or ceci ne se produit pas [1].

BIBLIOGRAPHIE

[1] Carson, G. P.; Howard, H. W.; Markham, R.; et Smith, Kenneth M. 'Paracrinkle Virus and Inheritance.' *Nature*, 1944, **154**, 334.

[2] Darlington, C. D. 'Heredity, Development, and Infection.' *Nature*, 1944, **154**, 164.

[3] Kunkel, L. O. 'Viruses in relation to the growth of plants.' *Torreya*, 1943, **43**, 87–95.

[4] Markham, R.; Smith, Kenneth M.; et Lea, D. 'The Sizes of Viruses and the Methods employed in their Estimation.' *Parasitology*, 1942, **34**, 315–352.

[5] Salaman, R. N., et La Pelley, R. N. 'Paracrinkle: a potato disease of the virus group.' *Proc. roy. Soc.* [*B*], 1929, **106**, 140–175.

[6] Salaman, R. N. *Potato Varieties*, 1926, 275, Cambridge University Press.

[7] Smith, Kenneth M. *Beyond the Microscope*, 1943, Penguin Books Limited.

[8] Watson, M. A., et Roberts, F. M. *Proc. roy. Soc.* [*B*], 1939, **127**, 544.

Travaux récents sur le comportement des ions dans les gaz

A. M. TYNDALL

Les conditions qui déterminent la fixation des ions aux molécules environnantes ont fait le sujet de nombreuses recherches, mais les publications sur ce sujet présentent souvent des contradictions apparentes. Le Professeur Tyndall, qui a poursuivi avec ses collaborateurs à l'Université de Bristol, des recherches très importantes sur le comportement des ions dans les gaz, donne dans cet article un exposé très clair des progrès récents. Il montre que beaucoup d'incertitudes ont pu être dissipées.

Le transport de l'électricité à travers les électrolytes et les gaz par l'intermédiaire des ions traversant le milieu à une vitesse généralement proportionnelle au champ électrique employé, est un fait bien connu. La vitesse, exprimée en unité de champ électrique, est appelée la mobilité de l'ion. Par suite des collisions continuelles entre un ion et les molécules du milieu, il est impossible de déterminer la nature de l'ion, i.e. sa masse, par les méthodes directes telles que la spectrographie de masse, applicable aux gaz à basse pression. Mais on peut indirectement tirer quelques déductions de la valeur de la mobilité mesurée et de ses variations en fonction des conditions physiques. Nous considèrerons dans cet article les ions dans les gaz, d'abord à l'état pur, ensuite dans des conditions d'impureté déterminées.

On sait maintenant que tous les premiers travaux ont été faussés par des surfaces souillées et des traces de vapeurs telles que la vapeur d'eau et des vapeurs provenant des substances organiques servant à graisser les robinets. Par suite de leur charge, ces molécules sont fortement attirées par les ions et forment un amas moléculaire autour de chacun d'eux. Il en résulte que la mobilité de l'ion dans cet amas est notablement réduite; il devient si insensible à l'action de masse que sa nature peut être complètement masquée.

GAZ PURS

Des mesures effectuées récemment[1] au Wills Physical Laboratory à Bristol, en utilisant un appareillage entièrement en verre et métal adapté à la technique moderne des gaz et du vide, ont montré que, si l'on supprime toutes les sources de contamination, les ions restent dans le même état qu'à l'origine, i.e. un électron négatif et un atome positif ou une molécule.

Dans de telles conditions de propreté il est possible d'étudier la mobilité de ces ions dans le gaz dont ils proviennent, et l'on peut également utiliser des ions étrangers à ce gaz. Les ions des métaux alcalins sont très commodes; on peut les obtenir à partir de Al_2O_3,SiO_2 fondu et à l'état vitreux et du métal alcalin choisi. Ceci est un mélange d'une fonction énergétique d'émission élevée, renfermant des atomes de métal alcalin. Si l'on chauffe une perle de ce mélange chargée à un potentiel positif, les atomes du métal alcalin s'évaporeront en ions positifs, parce qu'il faut

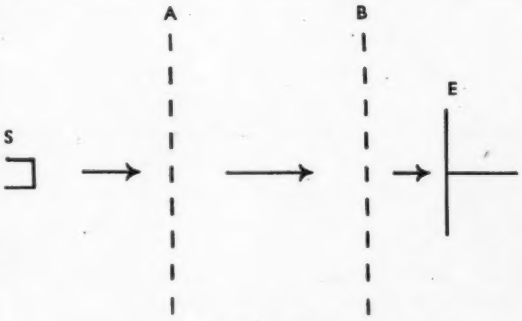


FIGURE I

moins d'énergie pour enlever un électron d'un atome de métal alcalin que de la surface du milieu qui le renferme.

A et B sur la figure 1 sont des électrodes perforées entre lesquelles est établi un champ électrique continu. Les ions positifs provenant de la source S qui passent à travers A seront entraînés par le champ électrique à travers B. En imprimant aux ions une série de pulsations de voltage au voisinage de A, de minces pellicules d'ions traversent A à intervalles réguliers et

[1] TYNDALL. *The Mobility of Positive Ions in Gases.* (Cambridge University Press.)

arrivent ensuite en B. Imprimons des pulsations à une fréquence n, T représentant le temps que les ions mettent à aller de A en B; contrôlons également la sortie des ions à partir de B par une même série de pulsations en phase avec celles que reçoit A. Dans ce cas, si $n = 1/T$, chaque couche d'ions arrive en B juste au moment où il agit momentanément comme un volet. Les ions le traversent alors pour aller à l'électromètre E. Le même résultat se produit lorsque $n = 2/T$, $3/T$, $4/T$, etc. La transmission des ions, et par conséquent le courant dans l'électromètre, ne se pro-

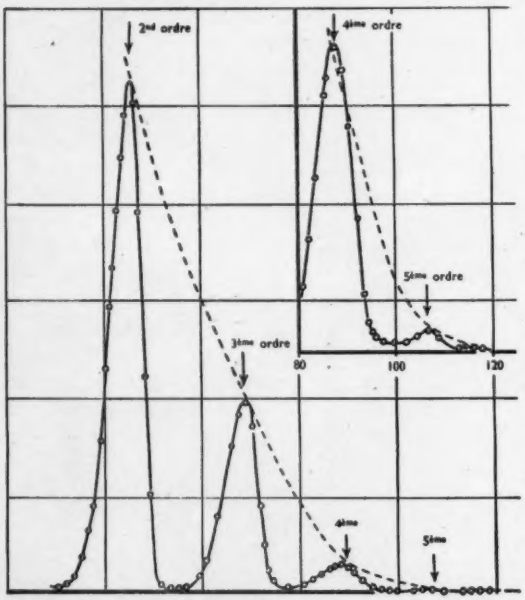


FIGURE 2

duisent qu'au voisinage immédiat de ces fréquences, et dans la pratique, la grandeur de l'effet diminue à mesure que la valeur de n croît. L'effet total est en quelque sorte analogue aux séries d'un réseau de diffraction, et si les ions produits ne sont pas homogènes, nous avons une possibilité d'analyse par la formation d'un spectre de mobilité. La figure 2 donne un exemple pour une source homogène d'ions sodium dans l'argon[1].

On a pu de cette façon déterminer la mobilité de tous les ions positifs des métaux alcalins à l'état pur dans les cinq gaz rares He, Ne, A, Kr, et Xe. Chaque type d'ions positifs possède une mobilité caractéristique pour un gaz donné, et la relation entre la mobilité k et la masse M est représentée sur la figure 3 où k^2 est exprimé en fonction de 1/M.

Langevin a établi une formule de la mobilité de l'ion d'après l'hypothèse selon laquelle les ions et les molécules de gaz neutres seraient des sphères élastiques de diamètre fini attirées les unes vers les autres par des forces polarisantes inversement proportionnelles à la cinquième puissance de la distance qui les sépare. Si nous acceptons ce point de vue, nous constatons que la relation linéaire entre k^2 et 1/M donnée dans les gaz les plus lourds indique que la dimension de l'ion prise entre certaines limites n'exerce aucune influence sur la mobilité. Dans He et Ne la relation entre k^2 et 1/M n'est plus linéaire, et ici, l'influence de la dimension de l'ion n'est pas négligeable.

EFFETS DE L'ADDITION D'IMPURETÉS

Dans certains cas ces graphiques peuvent être employés de la même façon que la spectrographie de masse pour déterminer la masse d'autres ions qui peuvent se former. C'est ainsi que Powell et Brata ont trouvé un ion de masse 40 en employant des ions du sodium dans de l'azote contenant une trace d'hydrogène. Il est probable qu'il y avait eu formation d'une trace d'ammoniaque au contact de la surface chaude de la source d'ions, et qu'il y avait eu production d'un ion $NaNH_3$.

Quelques années plus tard, Munson et l'auteur[2] reprirent ceci en faisant une étude détaillée de l'action de la vapeur d'eau, ajoutée au gaz en très faible quantité. Les molécules d'eau sont fortement polarisées, et si l'une d'elles se fixe sur un ion, il faudra une quantité d'énergie considérable pour l'en détacher. S'il y a fixation de plus d'une molécule, on peut s'attendre à ce que l'énergie de fixation de chacune de ces molécules décroisse. Le nombre final de molécules de l'agglomérat variera aux environs d'une valeur moyenne déterminée par l'énergie moyenne avec laquelle les particules entrent en collision, c'est-à-dire par la température.

La méthode expérimentale adoptée pour cette étude consistait à « vieillir » les ions en présence de vapeur d'eau pendant un temps suffisant pour obtenir l'équilibre avant de mesurer leur mobilité. Ayant atteint l'équilibre on devrait pouvoir obtenir une valeur de la mobilité indépendante de la pression de la vapeur d'eau à condition que celle-ci soit faible par rapport à la pression gazeuse. On a trouvé de cette façon qu'elle était indépendante de la concentration pour des valeurs de celle-ci comprises entre 0,1 et 2 pour cent. Le Tableau I donne les mobilités ainsi

[1] POWELL et BRATA. *Proc. roy. Soc.*, 1932, **138**, 118.

[2] MUNSON et TYNDALL. *Proc. roy. Soc.*, 1939, **172**, 28.

TABLEAU I

MOBILITÉ DES IONS DES MÉTAUX ALCALINS

En cm/sec/volt/cm

(*a*) *Ions isolés;* (*b*) *ions entourés d'un amas*

	He		Ne		A		Kr		Xe	
Ion ..	(*a*)	(*b*)	(*a*)	(*b*)	(*a*)	(*b*)	(*a*)	(*b*)	(*a*)	(*b*)
Li ..	25,6	11,70	11,8	5,28	4,99	2,26	3,97	1,46	3,04	0,98
Na ..	24,2	11,15	8,70	5,25	3,23	2,25	2,34	1,43	1,80	0,94
K ..	22,9	11,85	8,0	5,26	2,81	2,19	1,98	—	1,44	0,92
Rb ..	21,4	12,8	7,18	5,38	2,40	2,10	1,57	1,37	1,10	0,87
Cs ..	19,6	13,4	6,50	5,48	2,23	2,18	1,42	—	0,97	0,83

obtenues: (*a*) se rapporte aux gaz purs et aux ions libres, (*b*) aux ions sur lesquels se sont fixées des molécules de vapeur d'eau.

En appliquant les graphiques de la figure 3 à ces résultats il est possible d'estimer le nombre de molécules d'eau dans l'amas; les valeurs ainsi obtenues dans l'argon, le krypton, et le xénon varient entre 5,7 et 6,4. Mais cette estimation de six molécules, par exemple, est une limite maximum, parce qu'on ne peut être certain que l'influence de la taille soit négligeable dans le cas d'un amas ayant un diamètre supérieur à celui d'un atome de même masse.

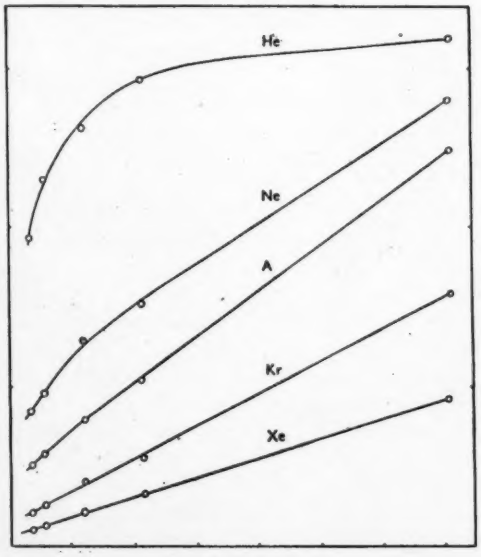


FIGURE 3

On sait en effet que dans les électrolytes l'ion lithium n'est pas le plus rapide du groupe des métaux alcalins, mais bien le plus lent. On a déjà émis l'hypothèse que ceci serait dû à une plus grande hydratation résultant du champ ionique plus puissant à la surface d'un ion de faible diamètre. On peut constater également que d'après le Tableau I on trouve un effet analogue sur He et Ne, pour lesquels la mobilité des ions entourés de molécules passe par un minimum, et dans lequel l'ion lithium se déplace notablement plus lentement que l'ion caesium. Il est intéressant de noter que Bernal et Fowler avaient conclu en 1933 que dans les électrolytes un ion lithium accroche en moyenne quatre molécules d'eau tandis qu'un ion caesium n'en accroche aucune. Notre opinion est que dans les gaz, le nombre de molécules n'est pas supérieur à six, et qu'il est plutôt inférieur à ce chiffre, pour le lithium, et qu'il est encore plus faible, mais au moins égal à l'unité pour le caesium.

Il est également intéressant d'étudier les débuts de la formation de l'amas en mesurant la mobilité dans les premiers stades. Les figures 4 (*a*) et 5 (*a*) donnent deux illustrations typiques; comme dans la figure 1, le courant dans l'électromètre est exprimé en fonction de la fréquence des pulsations. Bien que, à première vue, le graphique qui en résulte présente peu de ressemblance avec celui de la figure 2, il peut être décomposé en deux groupes (*b*) et (*c*) de mobilités différentes et présentant plusieurs séries comme dans la figure 2. En répétant les expériences en l'absence de vapeur d'eau il a été possible d'identifier l'espacement dans (*c*) avec les ions métalliques alcalins

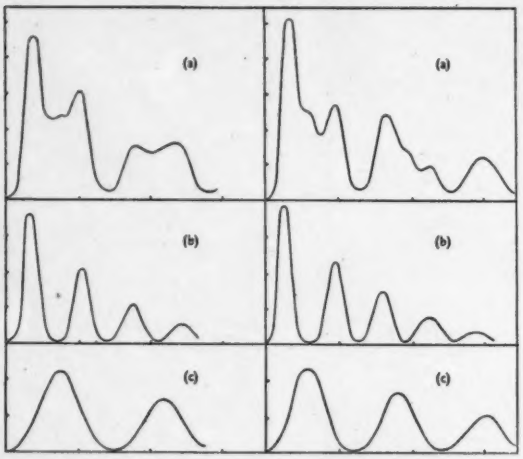


FIGURE 4 FIGURE 5

indépendants. L'ion qui se déplace plus lentement (*b*) est entouré de plusieurs molécules. Bien que l'on ait fait des essais sur plusieurs dizaines de spécimens, la quantité de groupes d'ions décelables n'a jamais dépassé deux.

Dans ces deux groupes les ions sont, soit tous libres aux stades très jeunes, soit tous pourvus d'amas aux stades plus avancés. En d'autres termes, un ion en passant à travers le gaz accroche un amas complet, ou n'en accroche aucun, et plus la vie de l'ion est longue plus il est certain qu'il acquierra un amas.

MÉCANISME DE FIXATION

Nous pouvons trouver une explication de ce phénomène en traçant un graphique de l'énergie potentielle (V) d'un système de deux atomes pour des distances différentes entre leurs centres (*r*). Si l'on veut obtenir une configuration stable, il faut alors qu'à un moment donné l'énergie potentielle ait une valeur minimum comme dans la figure 6 (*a*) et (*b*). La profondeur de la dépression D est la mesure de l'énergie de dissociation, i.e. de l'énergie qui doit être fournie au système pour le diviser à l'infini. Ainsi (*a*) représente un système plus stable que (*b*). Par exemple, si (*a*) s'applique à l'union d'un ion de métal alcalin avec une molécule d'eau, (*b*) pourrait alors représenter le graphique de l'énergie potentielle d'un ion ayant déjà un amas et voisin d'une autre molécule d'eau.

L'existence de cette dépression de potentiel ne signifie pas que la combinaison se produira nécessairement lorsque les deux corps s'approcheront l'un de l'autre. Sous l'influence de la force d'attraction, les corps acquierront l'énergie cinétique qui peut les transporter à travers la zone de moindre répulsion jusqu'à la région de forte répulsion, dans laquelle ils se sépareront à nouveau. La combinaison nécessite la présence d'un mécanisme quelconque qui absorbe cette énergie cinétique, de telle sorte que les deux corps restent maintenus au fond de la dépression de potentiel. Ce mécanisme peut être fourni par la présence d'un troisième corps ou par des degrés de liberté vibratoire existant lorsque la formation d'un amas a commencé. Il y aurait donc beaucoup moins de chances de fixation pour la première molécule que pour les suivantes. Cette conception donne une explication qualitative du fait que l'on trouve souvent des ions libres même en présence de vapeur d'eau, mais que lorsqu'une molécule s'est fixée, l'amas se forme rapidement et atteint une taille déterminée, et les tailles intermédiaires sont si éphémères qu'elle sont inconnues.

IONS NÉGATIFS

La fixation de molécules d'eau sur des électrons dans les gaz n'a jamais été complètement étudiée. Les électrons à l'état libre ont une beaucoup plus grande mobilité dans les gaz que les ions positifs, et ils rencontrent moins souvent des molécules d'eau au cours d'un trajet déterminé. A ce point de vue les ions négatifs se comportent comme s'ils étaient moins sensibles à la présence de la vapeur d'eau comme impureté. Mais les molécules

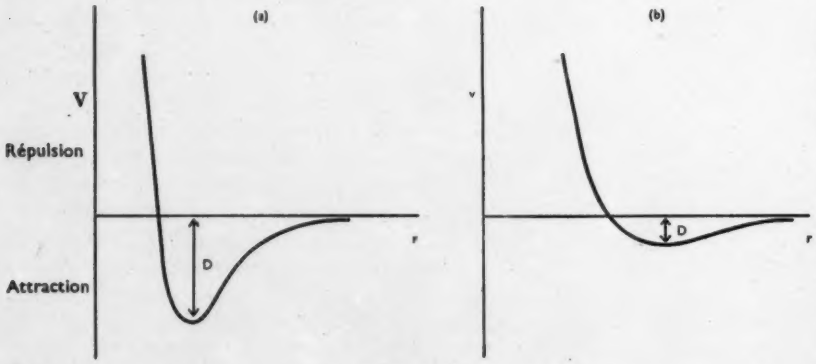


FIGURE 6

TABLEAU II

Ion	Gaz	Temp. °K	ion avec amas	$\frac{C}{(1-C)}$	n	Electron volts
Li^+	He	20	1,10	> 3	1	$> 0{,}016$
		77		$\rightleftarrows 1$	1	$\rightleftarrows 0{,}07$
		90		< 1	3	$< 0{,}08$
	Ne	90	1,98	> 10	3	$> 0{,}13$
		195		$< 1/10$	1	$< 0{,}16$
	A	195	2,38	> 10	2	$> 0{,}25$
		290		$< 1/3$	1	$< 0{,}29$
	Kr	290	3,09	> 10	2	$> 0{,}31$
		360		< 2	1	$< 0{,}35$
	Xe	290	3,84	> 20	2	$> 0{,}42$
K^+	A	77		$< 1/10$	1	$< 0{,}06$

polarisées provoquent la formation d'amas autour des ions négatifs au cours de leur passage à condition que la concentration en impureté soit suffisamment élevée. De plus, une des premières observations faites par Powell et l'auteur, dans de l'air insuffisamment purifié, ont montré que des électrons et des ions négatifs fortement entourés d'un amas pouvaient exister côte à côte dans le courant d'ions.

FIXATION DE MOLÉCULES NON POLARISÉES

Puisqu'il existe des preuves de la fixation de molécules polarisées sur un ion, il faut également considérer la possibilité de fixation de molécules non polarisées. Dans ce cas la force de fixation sera en général bien moindre; mais elle ne sera pas nulle parce que le champ électrique dû à la charge des ions polarise une molécule au voisinage de l'ion, lui communiquant une force bipolaire induite variant en raison inverse de la cinquième puissance de sa distance par rapport à l'ion.

Les conditions les plus favorables pour observer un effet de ce genre seront: *a*) un ion de faible diamètre afin que le champ de polarisation à sa surface soit très grand, *b*) un atome de gaz ayant un nombre atomique élevé, i.e. un atome pouvant être fortement polarisé, *c*) une température basse qui réduira les chances de la molécule d'être arrachée au cours de l'agitation thermique. Le Tableau II donne le détail de quelques essais réussis[1]. Dans la colonne 5, C représente la concentration en ions isolés. Si un ion donné transporte un courant inférieur à 10 pour cent de la totalité, il peut ne pas être détecté au cours de ces expériences. Par conséquent les chiffres $C/(1-C) > 10$ et $< 1/10$ dans cette colonne signifient que l'on n'a décelé respectivement ni ion libre ni ion entouré d'un amas.

Considérons tout d'abord le cas le plus favorable permettant de déceler la fixation, c'est-à-dire le plus petit ion Li^+ dans le gaz le plus polarisable, le xénon. Il n'est pas nécessaire d'aller jusqu'aux températures les plus basses pour observer la formation d'amas complets. En fait il n'est pas possible d'obtenir la valeur de la mobilité de l'ion libre Li^+ dans le xénon avec de faibles champs électriques. Une estimation brute du nombre (n) des atomes fixés à l'ion est donnée dans la colonne 6. Dans le cas du Li^+ dans le xénon il y en a deux.

Pour Li^+ dans le krypton on observe des résultats analogues à la température du laboratoire; bien que ceci soit à peu près un cas limite, puisque à 100° C on constate l'apparition en grande quantité d'ions libres et l'on estime qu'un ion avec amas contient un seul atome de gaz au lieu de deux.

Si l'on passe aux atomes plus petits et progressivement moins polarisables d'A, Ne et He, on n'observe de grandes quantités d'ions pourvus d'amas qu'à des températures progressivement décroissantes. Ainsi dans le néon il n'y a pas de fixation à la température du laboratoire, ni à 195° K, mais il y en a une importante à la température d'ébullition de l'oxygène.

[1] MUNSON et HOSELITZ. *Proc. roy. Soc.*, 1939, **172**, 43.

L'Islam et la science: passé et avenir

(*Suite de la page* 2)

minéralogie et la météorologie furent également servies par des disciples de talent. Le plus grand botaniste de l'Islam, Ibn al-Baytar (mort en 1248), fut à l'apogée de sa carrière à une époque trop tardive pour que ses travaux puissent exercer une influence marquée sur la science européenne; mais ses traités de botanique, bien qu'ils soient basés sur des ouvrages plus anciens, représentent en somme un progrès notable.

On pourrait encore ajouter à ce récit. Les Musulmans de ces siècles passés considéraient les connaissances scientifiques comme étant de la plus haute importance et « avec l'intérêt vint la méthode: une tournure d'esprit rationnelle et un goût pour l'expérimentation ».

L'accroissement et la diminution de l'activité et de la productivité intellectuelles restent des phénomènes inexplicables mais il nous est permis de croire que ce que l'homme a pu accomplir dans le passé, pourra être accompli de nouveau. Il reste encore à une grande partie de l'Islam à acquérir des facilités d'éducation à peine comparables à celles d'Europe ou d'Amérique, et avant que ceci ne soit accompli, on ne peut s'attendre à ce que le pays retrouve sa gloire passée. Mais nous ne doutons pas que l'Islam représente un réservoir, vaste mais inutilisé — et avec une proportion incalculable de génie — que le monde ne saurait négliger. Si on lui en donne la possibilité, l'Islam pourrait retrouver sa place dans le cortège du progrès scientifique; et puisque quelques 100.000.000 sujets de Sa Majesté Britannique sont des Musulmans, il serait excellent que cette possibilité soit offerte par le Commonwealth et l'Empire Britannique à cette partie de l'Islam qui a prêté serment de fidélité à la Couronne.

Episodes sensationnels dans l'histoire de la science en Grande Bretagne

(*Suite de la page* 21)

la triste histoire en une phrase: « On a employé de la vapeur à haute pression dans une chaudière faite pour les basses pressions ».

L'histoire de la vie de Joseph Priestley (1733–1804), théologien, historien et chimiste, auteur de 108 livres publiés, est pleine de moments passionnants. Expérimentateur infatigable, Priestley fit la découverte de plusieurs gaz communs, notamment le protoxyde d'azote (ou gaz hilarant), le premier anesthésique. Et ce fut assurément un moment sensationnel que celui où, étudiant le mécanisme naturel par lequel l'air vicié par la respiration des animaux était purifié, Priestley découvrit que l'air, dans lequel des souris avaient été asphyxiées pouvait être purifié de manière à ce que d'autres souris puissent y respirer à nouveau, tout simplement en mettant un brin de menthe fraîche dans cet air vicié enfermé dans un bocal de verre placé au-dessus d'une cuve à eau.

Quel moment sensationnel également que celui où en 1807 Davy, travaillant à la « Royal Institution », électrolysa de la potasse humide et découvrit le potassium métallique. Il n'est pas étonnant que dans un excès de joie il ait griffonné « expérience formidable » dans son livre de notes à côté de ses observations. Dans toute la longue et remarquable histoire de la « Royal Institution » il y a peu de moments plus passionnants que celui-ci; mais assurément l'évènement le plus remarquable de son histoire se produisit par une journée d'automne, en 1831, quand Faraday, commençant son volume historique « Experiments on the production of Electricity from Magnetism », découvrit les courants induits.

Pour finir, rappelons la découverte de l'argon, celle de l'hélium comme élément terrestre, celle de l'électron, celle du grand angle de dispersion des rayons alpha (dispersion qui conduisit Rutherford à la conception de l'atome nucléaire, et dont il a dit: « ce fut bien l'évènement le plus incroyable de ma vie. C'était presqu'aussi incroyable que si l'on avait tiré un obus contre une feuille de papier de soie, et qu'il ait ricoché ») et enfin ce n'est pas le moindre de ces épisodes sensationnels que la découverte de la pénicilline.

Les spectres célestes

SIR HAROLD SPENCER JONES

L'étude des spectres célestes a fait des progrès rapides au cours des dernières années. Par exemple, une étude des spectres des comètes a révélé la présence non seulement de C_2, CN, CH, OH, et autres molécules diatomiques, mais aussi de la molécule triatomique CH_2, et de la molécule isotopique $C^{12}C^{13}$. Le spectre coronal a été presque complètement identifié, de même que certaines raies du spectre de l'espace interstellaire; mais les larges bandes d'émission des supernovae présentent encore un problème à résoudre.

L'astronome a sur le physicien l'avantage de pouvoir étudier la matière dans des conditions que l'on ne peut obtenir au laboratoire, telles que des conditions de températures très élevées ou de densités extrêmement faibles. Il n'est donc pas rare que l'on observe dans les spectres célestes des raies ou des bandes qui n'ont pas été observées au laboratoire. Le premier exemple de détection d'une raie d'origine inconnue dans un spectre céleste remonte à 1868, lorsque Lockyer observa dans le spectre solaire une raie nette dans le jaune, voisine des raies bien connues du sodium mais pas identique à celles-ci. On attribua cette raie à un élément inconnu que l'on appela *hélium*; près de trente ans plus tard on trouva pour la première fois de l'hélium terrestre dans l'air et dans certains minéraux. Dans ce cas, le fait que l'hélium fut découvert dans le soleil avant de l'être sur la terre, est dû à sa rareté sur notre globe alors qu'il est abondant cosmiquement; il n'est pas dû à ce que l'hélium se trouve dans le soleil dans des conditions qui ne peuvent être reproduites au laboratoire. Ceci créait un précédent pour l'attribution des raies d'origine non identifiée, trouvées dans les spectres célestes, à des éléments inconnus sur la terre.

L'observation de fortes bandes d'absorption moléculaire d'origine inconnue dans les spectres de Vénus et des principales planètes en fournit d'autres exemples quelque peu différents. Au cours des dernières années, des considérations théoriques firent supposer que les bandes dans le spectre de Vénus étaient produites par le bioxyde de carbone, et que celles des spectres des principales planètes étaient dues à l'ammoniaque et au méthane. Ces hypothèses ont été vérifiées au laboratoire en faisant passer de la lumière à travers une longue colonne du gaz approprié à haute pression; c'est à cause de la masse considérable de gaz nécessaire pour produire des bandes d'absorption décelables que l'on n'avait pas observé plus tôt ces bandes au laboratoire.

On attribua à un élément inconnu, que l'on appela *coronium*, plusieurs raies inconnues trouvées dans le spectre de la couronne solaire. On observa également des raies inconnues dans les spectres des nébuleuses gazeuses. Les plus nettes sont deux fortes raies dans le vert qui donnent à ces nébuleuses leur couleur verdâtre caractéristique. On attribua ces raies à un autre élément hypothétique, le *nébulium*. Les progrès réalisés dans les connaissances relatives à la structure atomique montrèrent qu'il n'y avait pas place dans la série atomique pour ces éléments; le coronium et le nébulium ne pouvaient donc être des éléments inconnus, et devaient être des éléments connus mais se trouvant dans des conditions inhabituelles.

La condition dominante existant dans la nébuleuse gazeuse est la densité extrêmement faible; la densité de la nébuleuse d'Orion par exemple est environ 10^{-15} de celle de l'air à température et à densité normales. Un atome ne reste pas normalement à un niveau d'énergie donné pour plus d'un cent-millionième de seconde sans décharger spontanément son énergie; mais à certains niveaux d'énergie un atome peut rester en moyenne plusieurs secondes et même minutes sans émettre de radiations. On n'observe pas sur la terre les raies spectrales dues aux transitions à partir des atomes sous cette forme métastable parce que, même dans le vide le plus poussé que l'on puisse obtenir au laboratoire, il y a beaucoup de chances pour que l'atome perde son énergie par collision avec un autre atome bien avant le moment où il serait prêt à la décharger spontanément. Les chances qu'un atome puisse émettre une de ces raies sont si faibles que les lois empiriques qui ont été formulées ne permettent pas les transitions à partir de l'état métastable; on a donc appelé les raies produites par les transitions à partir de l'état métastable *raies interdites*. Mais,

aux densités très faibles existant dans les nébuleuses, les raies interdites peuvent apparaître. Mieux encore, dans ces mêmes conditions, les raies normales n'apparaissent pas en général parce que les électrons se déplacent trop lentement pour exciter les atomes aux niveaux normaux, qui correspondent à une énergie plus élevée que les niveaux métastables. C'est pourquoi ce sont les raies interdites qui dominent dans les spectres des nébuleuses gazeuses. Bowen a pu de cette façon expliquer leurs spectres, et en étudiant les configurations électroniques possibles, il a pu identifier les principales raies. Il prouva que les deux fortes raies (nébulium) sont dues à des atomes d'oxygène à ionisation double; d'autres raies sont dues à l'azote, au néon, et au soufre à différents stades d'ionisation.

On observe les raies interdites des différents éléments dans les derniers stades de l'éruption d'une nova. Lorsque l'éruption d'une nova se produit, l'astre expulse une ou plusieurs couches gazeuses. A mesure qu'une telle couche de gaz s'éloigne de l'astre, la radiation de cet astre, disponible pour exciter les atomes de la couche, se dilue progressivement tandis que la densité du gaz dans la couche diminue; les niveaux métastables tendent à se peupler tandis que les niveaux normaux tendent à se dépeupler. Les raies interdites font alors leur apparition dans le spectre. Au début du stade post-maximum de la nova lente Nova Pictoris (1925), les raies interdites du fer ionisé [FeII][1] constituaient l'un des traits principaux du spectre. Ces raies [FeII] sont également prédominantes dans le spectre de l'étoile variable Eta Carinae, et d'autres étoiles « ferreuses ». L'auteur a étudié le spectre de Nova Pictoris pendant plusieurs années après son éruption. A différents stades, de nombreuses raies dont on ne put à l'époque déterminer l'origine, apparurent dans le spectre. Parmi celles-ci se trouvait une raie très prononcée à 6086A, qui fut à un moment donné la raie la plus puissante du spectre et que l'on n'avait jamais observée auparavant dans aucun spectre céleste. Bowen et Edlén l'identifièrent par la suite à partir de considérations théoriques comme une raie [FeVII], et trouvèrent que les autres raies du spectre étaient dues à la fois à [FeVII] et à [FeVI]. Swings et Struve ont montré depuis que les raies qui étaient apparues à des stades antérieurs étaient dues à [FeIII], [FeIV] et [FeV]. Tous les stades de l'ionisation de [FeII] à [FeVII] ont donc existé successivement. On a constaté que les raies de [FeV], [FeVI], et [FeVII] sont également prédominantes dans le spectre actuel de la nova lente RT Serpentis (1909). L'importance des spectres interdits du fer augmente de plus en plus dans l'étude des atmosphères d'excitation élevée des étoiles et des novae.

Après avoir réussi à identifier les raies observées dans différents spectres célestes avec les raies interdites provenant des transitions des atomes connus à partir de leurs états métastables, on espérait pouvoir montrer que les raies coronales étaient de la même nature. Mais leur identification s'avéra beaucoup plus ardue et ce fut pendant plusieurs années le principal problème de spectroscopie stellaire. On avait observé en tout vingt-trois raies dans le spectre coronal et aucune d'elles n'avait jamais été observée dans un autre spectre céleste jusqu'à 1942, année pendant laquelle on remarqua certaines d'entre elles dans le spectre de l'étoile variable RS Ophiuchi. Le problème fut enfin résolu par le physicien suédois Edlén.

Le point de départ des recherches était le fait que les séparations finales de certaines configurations des atomes FeX et FeXI coïncidaient avec les longueurs d'ondes de deux des raies coronales. Edlén avait observé les raies permises des spectres de ces atomes fortement ionisés dans l'extrême ultra-violet après excitation très élevée par des étincelles à haut voltage. On avait également remarqué que les séparations terminales analogues de certaines configurations des atomes CaXII et CaXIII coïncidaient avec les longueurs d'ondes de deux raies coronales plus faibles. En acceptant comme correcte l'identification de ces quatre raies, Edlén a pu, par des extrapolations basées sur des séries iso-électroniques, réaliser de façon consistante une identification presque complète du spectre coronal; seules quelques raies n'ont pu encore être identifiées. Les raies identifiées qui correspondent toutes aux transitions interdites appartiennent aux spectres de FeX, FeXI, FeXIII, FeXIV, FeXV; NiXII, NiXIII, NiXV, NiXVI; CaXII, CaXIII, CaXV; AX et AXIV. Les raies les plus fortes sont données par des atomes de fer ayant perdu neuf, dix, douze, et treize électrons; les raies des atomes de nickel analogues à ces raies des atomes de fer ont dans le spectre une intensité égale au dixième environ de celle des raies du fer. Les atomes FeXII et NiXIV sont certainement abondants dans la couronne

[1]Les raies interdites sont normalement représentées entre crochets. FeI représente le spectre des atomes neutres de fer; FeII, FeIII . . . sont les spectres des atomes qui ont été dépouillés d'un, deux, . . . électrons.

mais on ne trouve aucune raie dans la région observable des spectres de ces atomes.

On ne pense pas que beaucoup d'autres éléments tels que Si, Mg, C, N, O, et Ne, qui sont abondants cosmiquement, puissent être visibles dans la couronne, parce qu'aux niveaux d'ionisation appropriée leurs spectres ne comportent pas de raies interdites ou que, si elles existent, elles se trouvent dans la portion non observable.

Ces identifications sont très importantes en astrophysique et inspireront certainement de nombreuses recherches théoriques. Elles suggèrent qu'il s'agirait de températures électroniques de l'ordre de 200.000 à 400.000° C. Ceci est en accord avec la température de 350.000° C qui, selon Grotrian, correspond en équilibre thermique à la vitesse moyenne des électrons diffractés dans la couronne interne. Le faible gradient de densité et la haute turbulence observés dans la couronne sont des facteurs physiques probablement associés avec le degré très élevé d'excitation. On sait maintenant que de nombreux effets solaires demandent plus d'énergie dans l'extrême ultra-violet que n'en émettrait un corps noir de la taille du soleil à une température de 6.000° C. On n'a pas jusqu'à présent identifié la source de la très haute excitation qui règne dans la couronne; il faudra encore beaucoup de travail avant que l'on puisse comprendre complètement quelles sont les conditions qui y existent.

La matière ayant la densité la plus faible connue des astronomes est le gaz diffus interstellaire dont la densité est de l'ordre de 10^{-24}. Cette densité est très inférieure à celle des nébuleuses gazeuses; une sphère de 1.600 km de rayon contient à peine autant de matière qu'une petite bille. En 1904, Hartmann observa dans le spectre de l'étoile binaire Delta d'Orion deux raies correspondant aux raies H et K du calcium, elles étaient plus nettes et plus étroites que les raies normales de l'astre, et elles restaient stationnaires alors que les autres raies du spectre variaient avec les mouvements de l'étoile dans son orbite. Eddington suggéra qu'il s'agissait de raies d'absorption d'atomes de calcium présents dans l'espace interstellaire. Quelques années plus tard Mlle Heger et Wright trouvèrent que les raies jaunes D du sodium et deux autres raies du sodium dans l'ultra-violet près de 3300A se comportaient de façon analogue. Au cours des dernières années, Dunham et Adams ont trouvé en employant un très puissant spectrographe à haute dispersion, plusieurs raies interstellaires nettes et étroites, surtout dans le violet et l'ultra-violet, et Merrill et Wilson trouvèrent d'autre part dans le jaune et l'orangé, six raies larges et diffuses d'origine interstellaire mais différant des raies normales par leurs caractères. Par suite de la faible densité dans l'espace interstellaire et de la dilution des radiations stellaires, les seules raies atomiques que l'on puisse s'attendre à trouver sont celles qui proviennent des niveaux de moindre énergie ou états élémentaires des atomes neutres ou ionisés. Bien que l'ionisation se produise très lentement, un atome une fois ionisé reste dans cet état pendant assez longtemps parce qu'il a peu de chances de rencontrer des électrons libres. On a identifié les raies interstellaires d'atomes neutres de sodium, de calcium, de potassium et de fer, et d'atomes ionisés de calcium et de titane. Il était évident que plusieurs autres raies ne pouvaient provenir de transitions dans les atomes. Swings et Rosenfeld suggérèrent qu'elles pouvaient être d'origine moléculaire. Les molécules dans l'espace interstellaire devraient se trouver dans le plan de rotation le plus bas du niveau vibratoire zéro de l'état électronique élémentaire. En étudiant les molécules diatomiques courantes on prouva que les lignes nettes qui restaient à identifier étaient produites par des molécules neutres CN et par des molécules neutres et ionisées CH, ce qui constituait la première preuve directe de la présence de molécules composées dans l'espace interstellaire. L'origine des larges bandes diffuses interstellaires est encore inconnue.

La plupart des atomes interstellaires passent inaperçus parce que les raies produites par leurs transitions à partir de l'état élémentaire sont dans l'extrême ultra-violet dans la portion à laquelle l'atmosphère terrestre est opaque. Ainsi, bien que l'hydrogène soit probablement l'élément le plus abondant de l'espace interstellaire, on n'a jamais observé les raies sombres interstellaires de l'hydrogène. Cependant, Struve et Elvey ont pu récemment, avec un spectrographe spécialement construit, déceler de faibles raies émises par l'hydrogène et par l'oxygène ionisés, produites par la chute en cascade des électrons capturés par les atomes ionisés. Ces faibles rayons de lumière se trouvent seulement dans la région de la voie lactée.

Quelques intéressants problèmes d'identification et d'interprétation ont été fournis par les spectres des comètes. On a établi il y a plusieurs années la présence de molécules de C_2, CN, CH, et de

molécules ionisées de CO et N_2. Au cours des trois dernières années on a démontré la présence de molécules de OH de NH, et de CH ionisé. Un groupe de fortes raies près de 4050A s'avéra difficile à identifier. Swings déduisit de la netteté des raies que la molécule responsable devait être un hydrure, et il pensa d'abord à NH, parce que tous les autres hydrures diatomiques des éléments légers avaient déjà été reconnus; mais Hertzberg fit remarquer que la répartition des intensités parmi les raies composantes ne semblait pas indiquer une molécule diatomique. Swings a maintenant prouvé que les raies étaient produites par des molécules triatomiques CH_2. Ce résultat est très important et il constitue la première indication certaine de la présence de molécules triatomiques dans les spectres astronomiques. On n'a pu encore reproduire ces raies au laboratoire. Un autre groupe très net près de 6300A est presque certainement dû à un produit de dissociation de l'ammoniaque, NH_2. On peut mentionner également que l'on a décelé dans certaines comètes, en outre des bandes $C^{12}C^{12}$ de Swan, la seule molécule isotopique connue dans les comètes, $C^{12}C^{13}$.

Bien que la plupart de ces radicaux ne soient pas stables chimiquement, on peut les rencontrer dans des sources à basse température, telles que l'atmosphère d'une comète ou le gaz interstellaire.

Revue des livres

LA MESURE DES PARTICULES DE MATIÈRE

Determination of Particle Size in Subsieve Range. Report of Discussions. *Pp.* 69. *British Colliery Owners' Research Association et British Coal Utilization Research Association, Londres.* 1944.

La mesure exacte des dimensions des particules fines est d'une importance capitale en ce qui concerne les travaux des deux associations, sous les auspices desquelles les deux conférences rapportées ici eurent lieu en juin 1941 et en juillet 1942, ainsi que dans l'étude de nombreux procédés industriels. Ce compte-rendu intéressant et utile montre que, bien que les instruments et les méthodes employés de nos jours soient suffisants pour la comparaison des petites dimensions, il reste encore beaucoup à faire, par exemple pour déterminer la distribution des diverses tailles et la dispersion effective d'une poudre dans un liquide.

Dans la première partie du livre on trouve une étude faite par deux membres de chaque association et qui porte sur les méthodes de sédimentation et d'extinction de lumière, appliqués à des particules de 25μ environ de diamètre, et de méthodes microscopiques pour les poudres hétérogènes. La lecture de ce rapport à la deuxième conférence fut suivie d'une discussion, à laquelle prirent part de nombreux chercheurs. La contribution de ces derniers forme la seconde partie de ce compte-rendu.

W. JEVONS

CONCEPTION DE LA VALENCE

Valency: Classical and Modern, *par W. G. Palmer. Pp.* x + 242. *University Press, Cambridge.* 1944. 10*s.* 6*d.* net.

Il est indispensable que tout étudiant sérieux de chimie minérale comprenne la manière dont les atomes sont reliés les uns aux autres, et quels sont les facteurs qui déterminent les propriétés de leurs combinaisons. Dans ce livre le Dr Palmer nous fait voir d'une façon succincte et claire, le développement des théories de la valence chimique, depuis les premières théories du XIXème siècle jusqu'aux aspects les plus modernes de la théorie de l'électron, tout cela sur un fond solide de faits expérimentaux de chimie pure. La première partie du livre est destinée au lecteur ordinaire, tandis que les chapitres qui suivent traitent, entre autres, des développements récents de la théorie du « spin » électronique et de son point de départ spectroscopique, de la méthode des orbites moléculaires, de l'énergie des liaisons et des applications à la chimie organique.

Etant donné ses dimensions, ce livre contient une étonnante quantité de renseignements. En plus de l'exposition des théories de la valence, il contient aussi un grand nombre de notions quantitatives relativement à la structure de composés gazeux et solides, obtenues par des mesures faites par la méthode de la diffraction électronique, les rayons X et le spectroscope. Les références à des articles originaux y sont nombreuses.

F. FAIRBROTHER

LES PROGRÈS DE L'ANATOMIE COMPARÉE

A History of Comparative Anatomy from Aristotle to the Eighteenth Century, *par F. J. Cole. Pp. viii* + 524, *avec frontispiece et* 200 *figures dans le texte. Macmillan & Company, Limited, London.* 1944. 30*s. net.*

Le professeur Cole est l'interprète reconnu de l'histoire de la zoologie. Son travail, attendu depuis longtemps, ne porte aucune trace des difficultés actuelles. C'est un modèle d'étude patiente, exposée d'une façon attrayante.

Qu'est-ce que l'anatomie comparée? Son fondateur, Aristote, s'aperçut que les différents types d'animaux appartiennent à un assez petit nombre de groupes dont chacun répond à un certain type. Quelques-uns de ces groupes correspondent presque aux « classes », aux « ordres » et aux autres grandes divisions de la zoologie moderne. Il reconnut aussi que les animaux ne s'accouplent qu'avec des « formes » semblables à eux-mêmes, et que leurs descendants leur ressemblent toujours. De nos jours on a donné à ces « formes » (eidos) le nom d'« espèces ». Aristote nous donna ainsi la base d'une classification. Vers le XVIIème siècle on comprit que la structure interne des animaux serait une meilleure base de classification que les apparences superficielles, et l'on donna le nom d'« anatomie comparée » à l'étude de cette structure. Du temps de ses premiers adeptes, le Belge Vésale (1514–64) et le Français Belon

(1517–64), la comparaison était toujours établie, comme le démontre le professeur Cole, avec l'anatomie humaine. Ce ne fut qu'à la fin du XVIème siècle que l'on étudia l'animal pour lui-même. Le professeur Cole démontre de plus que cette étude devint florissante au XVIIème siècle avec le développement d'un art spécial; deux tiers de son livre enyiron sont consacrés à cette époque.

Il décrit trois grandes écoles de ce siècle. L'école anglaise avait pour centre la « Royal Society of London » et pour lumières Harvey (1578–1657), qui découvrit la circulation du sang; Hooke (1635–1703), qui écrivit le premier ouvrage sur la microscopie et qui est l'un des génies scientifiques les plus universels; John Ray (1627–1705), peut-être le plus grand naturaliste du siècle et l'un des plus grands de tous les temps; et d'autres encore. L'école hollandaise produisit deux savants incomparables. Leeuwenhoek (1632–1723), le plus grand des micrographes, n'eut aucune éducation scientifique et ne savait que le hollandais. Ses recherches ont été publiés par la « Royal Society » anglaise. Il fit ses propres microscopes que ne comportaient qu'une seule lentille. Il se servit de ces instruments avec un habileté remarquable. Il fut notamment le premier à voir des bactéries. Swammerdam (1637–80) devint médecin à l'âge de 30 ans. Des troubles mentaux réduisirent les treize années malheureuses qui lui restaient à vivre à moins de huit années d'activité. Et pourtant il fit des prodiges de recherche qui furent réunis longtemps après sa mort dans un livre qui contient la plus remarquable série d'observations microscopiques que l'on puisse trouver. L'école française est personnifiée par Claude Perrault (1613–88) à l'esprit souple et brillant, qui fit plus pour l'anatomie comparée que n'importe quel autre homme de son époque. Il étudia la médecine à Paris mais l'abandonna pour s'occuper d'architecture, où il se distingua. Sa façade du Louvre (1666) est un chef d'œuvre de l'architecture française. Son intérêt pour l'anatomie comparée se développa aux environs de 1667, et le point de vue mécanique duquel il étudia la structure des animaux fut une expression de sa tournure d'esprit d'architecte et d'ingénieur.

Le professeur Cole évite partout les sujets trop généralement connus. C'est ainsi que presqu'aucune des nombreuses illustrations de ce livre n'a paru dans un autre ouvrage moderne. Nous attirons également l'attention du lecteur sur l'habileté extraordinaire de la bibliographie et de l'index.

CHARLES SINGER

LA RELATION ENTRE L'ART ET LA SCIENCE

Art and Scientific Thought, *par M. Johnson. Pp. viii* + 192. *Faber & Faber, Limited, Londres.* 1944. 16*s.* net.

Dans la préface, Walter de la Mare écrit: « De nos jours on a peu d'excuse de rester ignorant ». Le lecteur moyen prendra certainement ce dicton à cœur quand il essayera de se rappeller si le quatuor de Beethoven, opus 130 en Si bémol, dont la finale est fuguée et qui se nomme de nos jours opus 135, précède ou suit l'opus 132 en La mineur: ou bien si c'était Al-Khujandi qui trouva que l'inclinaison de l'écliptique était de 23° 32′ 21″ et Al-Battani qu'elle était de 23° 35′ ou vice versa. Ces exemples réfutent la prétention des éditeurs qui soutiennent que ce livre peut être lu sans que le lecteur ait la moindre connaissance des sujets artistiques ou scientifiques qui y sont mentionnés. Le Dr Martin Johnson nous donne, toutefois, une série de monographies extrêmement intéressantes sur les sujets les plus divers, tels que les jades chinois, le ballet « Petrouschka », les mathématiciens de Bagdad, les instruments astronomiques chinois, etc. Ces essais sont très habiles et faciles à lire, mais d'une façon générale, le livre manque de cohésion, et l'on sent que le titre a été choisi dans le but de couvrir un nombre d'articles très différents et non pas les articles pour illustrer une idée bien définie.

L'auteur semble obsédé par l'idée d'un conflit sérieux entre la science et les arts. Il y en eût certainement un durant les beaux jours de l'industrie, au siècle dernier, mais à mon avis il n'y a plus de conflit de nos jours: il n'y a qu'un malentendu, dû au fait que le dessin de l'artiste, pour citer la phrase de l'auteur, peut être interprété de différentes manières selon l'observateur. Ce dualisme peut assurément s'expliquer historiquement par l'évolution et le perfectionnement, même lent, de toute science, tandis que les arts touchent les sommets de la perfection pour retomber ensuite dans un déclin abyssal.

Il serait intéressant de connaître le point de vue de l'auteur au sujet des problèmes de l'après-guerre, quand les sciences laisseront leurs jeux et leurs travaux mortels pour jouer un rôle important dans un monde meilleur.

ERIC KNIGHT

NOMENCLATURE INTERNATIONALE DES MALADIES

Polyglot Glossary of Communicable Diseases, *par Yves Biraud.* (*Tiré-àpart du « Bulletin of the Health Organization ». Volume X, No.* 3, *pp.* 202–556.) *Allen & Unwin* (*League of Nations Publications Department*), *Londres.* 1944. *Prix* 4*s.*

La traduction de livres littéraires, où la langue est l'expression de l'expérience émotionnelle d'un peuple, en différentes nuances de style, est tout au plus un expédient, un problème comportant un nombre infini de solutions aussi valides — ou invalides — les unes que les autres. Par contre, les idées scientifiques, pouvant être définies sans équivoque, d'une façon ou d'une autre, possèdent leurs équivalents exacts dans la plupart des langues civilisées. Néanmoins, un traducteur est souvent trahi par les « faux amis » ou mots presque identiques dans deux ou plusieurs langues, mais employés dans des sens différents. En médecine, privée d'une nomenclature latine uniforme, et embrouillée par le caractère vague du langage ordinaire, manquer de reconnaître un faux ami pourrait même avoir des conséquences fatales, dans les cas comportant une co-opération internationale; et il serait évidemment d'une importance primordiale de permettre à la « Health Organization of the League of Nations » d'établir une nomenclature internationale des maladies. L'ouvrage dont nous faisons la revue est basé principalement sur les comptes-rendus reçus de tous les pays en 1938, en préparation de la Cinquième Conférence Internationale, par le « Service of Epidemiological Intelligence and Public Health Statistics » et par la Bibliothèque de la S.D.N. Les matières sont habilement arrangées et indexées et nous trouvons dans la Ière partie des instructions claires et concises pour l'emploi des tables. La première colonne de la IIème partie contient la nomenclature internationale de 161 groupes de maladies avec leurs subdivisions, tous numérotés, et les colonnes suivantes contiennent les noms correspondants en latin et en 23 langues européennes. La IIIème partie,

l'index, est une liste alphabétique de tous les noms employés dans toutes les langues, avec le numéro de classification correspondant et une indication en abrégé de la langue (en français). Une traduction de l'alphabet cyrillique est incluse.

Dans un ouvrage de ce genre, la perfection viendra avec des approximations successives. Il est à espérer que les lecteurs qui sont invités à collaborer en signalant les omissions inévitables répondront à cet appel.

J. A. WILCKEN

LES MATIÈRES PLASTIQUES EN USAGE

Plastics for Production, *par Paul I. Smith. Pp. viii* + 180. *Chapman & Hall, Limited, Londres.* 1944. 12*s.* 6*d. net.*

L'auteur dit dans sa préface que le présent titre a été choisi de préférence au titre « Les propriétés des matières plastiques » parce qu'il avait pour but « une explication plutôt qu'une simple description des propriétés ». On ne peut exagérer l'importance de l'interprétation des propriétés d'une variété étonnante de matières plastiques pour un public toujours plus nombreux à en faire usage. Le plan du livre, qui ne consacre que deux chapitres aux propriétés, et les huit autres aux différents types de matières plastiques en usage, est en harmonie avec ce but. Mais la tâche est malaisée et exigerait un niveau d'analyse critique plus élevé que celui auquel il atteint.

L'auteur a tenu à éviter toute référence à la chimie des matières plastiques. Cette omission délibérée l'a parfois égaré notamment dans sa classification, qui ne mentionne sous le titre de « matières plastiques hydrocarbonées » que le polyisobutylène, et place le polythène sous un titre séparé, tandis que des produits aussi différents que le chlorure, l'acétal, le butyral et l'alcool polyvinyliques, et le chlorure de polyvinylidène sont placés sous le même titre de « Résines vinyliques ». Dans le même chapitre les sections consacrées aux applications nouvelles devraient être révisées et amplifiées; certaines ne sont pas nouvelles, d'autres sont insignifiantes, d'autres encore, bien qu'importantes, sont traitées en une phrase.

Le chapitre « Les matières plastiques comme isolants » donne l'impression que l'isolant moderne pour haute fréquence est le polystyrène, tandis qu'au contraire, la Grande Bretagne fut le premier pays à employer presqu'exclusivement le polythène qui, soit dit en passant, est une découverte Britannique, bien qu'il soit fabriqué maintenant aux Etats-Unis.

Malgré ses défauts, ce petit livre sera utile au nouveaux venus dans cette industrie qui désirent avoir une vue d'ensemble sur les matières plastiques en usage.

A. CARESS

LA BEAUTÉ ET LA FORME DE LA FAUNE CÔTIÈRE

Seashore Life and Pattern, *par T. A. Stephenson. Pp.* 28, *avec* 16 *planches. (A King Penguin.) Penguin Books, Limited, Harmondsworth et New York.* 1944. 2*s. net.*

Durant l'ère Victorienne, les livres populaires et bien illustrés d'Edward Forbes, P. H. Gosse, des Sowerby et autres, suscitèrent un intérêt général envers la vie qui anime nos rivages. Plus récemment cet intérêt s'est porté plus particulièrement vers le naturalisme scientifique, et cette littérature plait au cerveau plus qu'à l'œil. Le professeur Stephenson est l'un des rares spécialistes de biologie marine qui soit en même temps un artiste. Ses ouvrages sur les anémones de mer, publiés par la « Ray Society », contiennent probablement les meilleures planches modernes en couleurs d'animaux marins. Dans le petit volume que nous étudions il a essayé d'attirer le lecteur moyen en lui révélant à l'aide de nombreuses planches en couleurs, la beauté et la diversité des animaux du bord de la mer, et aussi à faire ressortir l'importance de la forme et du dessin de ces animaux. Il nous démontre que la sensation de beauté que nous éprouvons en les regardant est basée sur les lignes visibles et invisibles et sur leurs rapports mathématiques. Il analyse à l'aide de diagrammes la nature de ces motifs intrinsèques sur des exemples choisis. C'est un livre vraiment délicieux. Il devrait intéresser et plaire à beaucoup, et peut-être l'auteur sera-t-il mené à développer ce petit ouvrage et le traiter plus largement.

C. M. YONGE

FRANKLIN, HENRY, EDISON, GIBBS

Famous American Men of Science, *par J. G. Crowther. Tome premier, pp.* 191, *et tome second, pp.* 159. *(Pelican Books.) Penguin Books, Limited, Harmondsworth et New York.* 1944. 9*d. chaque volume.*

Le livre bien connu de Mr Crowther sur les savants américains célèbres parut en premier lieu en 1937; le tome premier de la nouvelle édition de la collection du « Pelican » contient les biographies de Franklin et de Henry, et le tome second celles d'Edison et de Gibbs. Bien que l'auteur de la présente critique maintienne que le point de vue marxiste qui affirme que le progrès scientifique est fonction des besoins économiques et sociaux, est incomplet et néglige d'autres facteurs, il a relu ces études avec autant d'intérêt qu'il y a sept ans, à leur première publication; car elles sont caractérisées d'un bout à l'autre par une solide érudition et une soigneuse analyse, et l'auteur réussit partout à faire revivre ses sujets devant les yeux du lecteur.

Franklin est peut-être le sujet idéal pour un biographe. Benjamin Franklin, pionnier en électricité, fondateur de la physique et de la chimie des surfaces, homme d'état, économiste, ambassadeur, visionnaire qui prévit un empire de « commonwealths » britanniques, une Société des Nations, et les possibilités de ce qu'on appelle maintenant les troupes parachutées, une figure de la Renaissance égarée dans le XVIIIème siècle.

Joseph Henry est à certains points de vue un sujet plus difficile; mais Mr Crowther nous donne une étude pleine de sympathie de ses importantes contributions à nos connaissances en électricité et de son administration remarquable du « Smithsonian Institution ». La comparaison des résultats obtenus par Faraday et de ceux d'Henry est faite avec compétence et impartialité.

Edison est bien présenté, avec une quantité suffisante de détails. Si cet homme remarquable possédait vraiment les rares qualités qu'on résume ordinairement par le mot « génie », l'étude de son œuvre par Mr Crowther démontre clairement qu'elles étaient quelquefois lamentablement gaspillé par le manque d'éducation scientifique.

Willard Gibbs restera toujours une étude intéressante; et Mr Crowther a parfaitement apprécié la grandeur intellectuelle du fondateur de la thermodynamique généralisée et de la science de l'énergie chimique, l'un des plus grands esprits depuis Newton. Cette « vie » est, d'après l'opinion d'un lecteur, la plus attrayante des quatre.

D. MCKIE